

Analisis Mikrotremor untuk Evaluasi Kekuatan Bangunan Studi Kasus Gedung Perpustakaan ITS

Vivi Wulandari Ayi dan Syaeful Bahri

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: syaeful_b@physics.its.ac.id

Abstrak—Analisis mikrotremor telah dilakukan pada gedung Perpustakaan ITS. Menggunakan metode FSR (*Floor Spectral Ratio*) untuk memperkirakan fungsi transfer (amplifikasi, frekuensi natural dan indeks kerentanan) dan metode RDM (*Random Decrement Metode*) untuk karakteristik dinamik bangunan (ratio redaman dan frekuensi natural). Berdasarkan data penelitian hubungan FSR dan RDM sangat erat sehingga menghasilkan rasio redaman yang akurat dari validasi frekuensi natural pada FSR dan RDM. Hubungan antara ratio redaman dengan frekuensi natural menghasilkan analisis non linear karena rasio redaman bergantung pada jenis material bangunan dan hubungan antara ratio redaman dengan indeks kerentanan menghasilkan jika kerentanan bangunan tinggi maka rasio redaman kecil. Hasil dari penelitian ini nilai frekuensi natural dari FSR 1.45 – 1.52 Hz dan hasil RDM 1.51 – 1.79 Hz. Gedung perpustakaan ITS tergolong bangunan kuat dari hasil rasio redaman antara 3-7%. Nilai indeks kerentanan paling tinggi adalah terletak di lantai dua gedung perpustakaan. Jadi lantai dua merupakan bangunan yang paling lemah jika terjadi kerusakan gedung.

Kata Kunci—Mikrotremor, frekuensi natural, rasio redaman, indeks kerentanan.

I. PENDAHULUAN

GEMPA merupakan bencana yang sering kali menimbulkan kerusakan pada bangunan, karena dapat menimbulkan penurunan kekuatan dan kekakuan dari bangunan tersebut. Untuk merancang bangunan tinggi gempa adalah salah satu sebab yang sangat diperhitungkan mengingat gempa tersebut akan mengakibatkan guncangan dan goyangan yang dapat merusak struktur bangunan. Gedung perpustakaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya adalah gedung bertingkat yang mempunyai 7 lantai dan dibangun di daerah gempa ringan. Gedung perpustakaan ITS terdapat di wilayah Surabaya Jawa Timur yang memiliki potensi gempa bumi dan kepadatan bangunan cukup tinggi, terletak di daerah dekat dengan sesar aktif Lasem di sebelah utara dengan jarak ± 70 Km, sesar aktif Watu Kosok di sebelah selatan-timur laut yang membujur dari Mojokerto hingga Madura dengan jarak ± 30 Km dan sesar aktif Pasuruan di sebelah selatan yang membujur dari Pasuruan sampai Mojokerto dengan jarak ± 50 Km. Sehingga besar kemungkinan wilayah ini bisa terjadi gempa bumi yang diakibatkan oleh sesar-sesar tersebut. Struktur pembangunan Gedung perpustakaan ini dibangun apakah sudah memenuhi standart tahan gempa sesuai dengan

karakteristik zona gempa daerah Surabaya. Atas dasar studi literatur potensi bahaya gempa bumi dan tingkat risiko kerusakan bangunan masih terbatas, maka penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran tentang tingkat kerentanan suatu bangunan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan frekuensi natural bangunan dan menentukan rasio redaman Perpustakaan ITS. Serta menghubungkan frekuensi natural dan rasio redaman untuk mengetahui kerentanan gedung perpustakaan ITS.

II. DASAR TEORI

A. Geologi Wilayah Surabaya

Wilayah kota Surabaya merupakan dominan daerah dataran rendah, yang berkisar 80% merupakan endapan aluvial dan sisanya merupakan perbukitan rendah yang dibentuk oleh tanah hasil pelapukan batuan tersier/tua. Tanah endapan aluvial ini terdiri dari endapan sungai, rawa, delta dan endapan pantai atau merupakan campuran. Letak Gedung Perpustakaan ITS terdapat dalam peta geologi sebelah timur. Secara Fisiografi daerah ini termasuk dataran rendah berupa endapan Aluvium dan endapan rawa. Gedung perpostkaan ITS dibangun 7 lantai . luas gedung perpustakaan ITS 7500m² dengan ketinggian mencapai 25 meter. Berikut peta geologi wilayah Surabaya.

B. Karakteristik Resiko wilayah Gempa Surabaya

Wilayah Jawa Timur (Jatim), khususnya kota Surabaya, merupakan wilayah yang tidak tahan terhadap gempa bumi, karena kondisi tanahnya yang bersifat "aluvial" (lunak). Pakar Geologi Surabaya, mengemukakan Kondisi tanah di wilayah kota Surabaya sangat buruk atau bersifat aluvial atau gembuk, sehingga bila terjadi gempa akan mudah luluh lantak. Beberapa skala gempa yang terjadi di Aceh dan Meksiko beberapa tahun yang lalu sebenarnya masih tergolong kecil, Namun kerusakan menjadi sangat parah akibat kondisi tanahnya yang tidak mendukung. Kondisi tanah yang aluvial mengakibatkan terjadinya amplifikasi sehingga ketika gempa itu terjadi, maka bisa meluluh lantakkan semua bangunan yang ada. Kondisi tanah yang buruk dipengaruhi oleh konstruksi bangunan yang tidak didesain dengan bangunan yang tahan gempa.

Dalam periode 1800-1985, di Surabaya pernah terjadi beberapa gempa bumi pada 22 Maret 1836 dengan jarak *epicenter* 60 Km di barat daya Mojokerto (skala VII-VIII

MMI), 31 Agustus 1902 dengan jarak *epicenter* 40 Km barat laut Sedayu Gresik (skala VI MMI), 11 Agustus 1939 dengan jarak *epicenter* 60 Km barat laut Laut Jawa (skala VII) dan 19 Juni 1950 dengan jarak *epicenter* 110 Km barat laut Laut Jawa (skala MMI).[13] menjelaskan bahwa wilayah Surabaya bisa digolongkan dalam zona kegempaan kelas tujuh dengan nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) sebesar 0.05 – 0.1 g. Artinya, Surabaya tergolong dalam wilayah yang jarang terjadi gempa. PGA merupakan nilai percepatan batuan dasar (*bedrock*) suatu wilayah ketika dikenai gempa. Nilai PGA tersebut, didasarkan pada estimasi sumber gempa, sejarah kegempaan dan keberadaan tektonik lempang sekitar wilayah tersebut. Peta hazard kegempaan diperlukan untuk menunjukkan tingkat hazard gempa suatu wilayah terutama untuk wilayah dengan tingkat aktifitas kegempaan yang tinggi seperti Wilayah Indonesia [1].

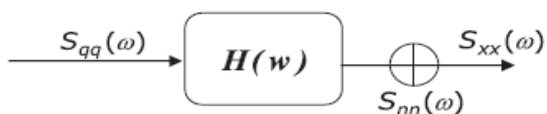
C. Efek lokal Terhadap Gempa Bumi

Pengaruh efek lokal terhadap gempa menunjukkan bahwa kerusakan struktur bangunan akibat gempa dan intensitas goncangan tanah selama gempa secara signifikan dipengaruhi oleh kondisi geologi, kondisi tanah setempat dan banyaknya jumlah korban jiwa yang diakibatkan oleh gempa bumi sangat signifikan [2]. Batuan sedimen yang lunak diketahui memperkuat gerakan tanah selama gempa dan karena itu rata-rata kerusakan yang diakibatkan lebih parah dari pada lapisan keras [3]. Artinya batuan sedimen merupakan faktor amplifikasi amplitudo gelombang gempa. Kota modern yang dibangun di atas sedimen lunak akan mudah mengalami kerusakan akibat amplifikasi gelombang gempa.

Faktor penting yang digunakan untuk mengestimasi efek lokal yang diakibatkan oleh gempa bumi adalah hubungan antara frekuensi natural suatu bangunan dengan frekuensi natural lapisan sedimen dimana bangunan tersebut dibangun. Sehingga bisa diketahui nilai resonansi bangunan yang nantinya bisa diestimasi kerentanannya terhadap gelombang gempa

D. Analisis Mikrotremor FSR

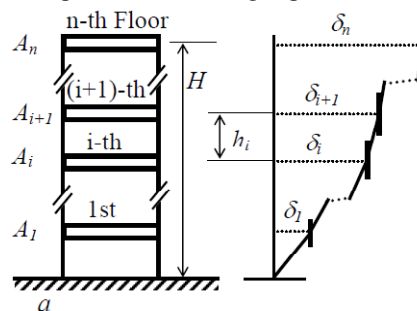
Pengolahan data yang digunakan pada pengukuran bangunan menggunakan metode FSR (Floor Spectral Ratio) Dalam menentukan fungsi transfer bangunan, tidak direkomendasikan menggunakan horizontal-to-vertical spectral ratio (HVSr), walaupun kemungkinan perkiraan frekuensi wajar dalam beberapa kasus. Namun tidak pada dasar teori penerapan mikrotremor bangunan karena tidak dapat memberikan asumsi bahwa horizontal dan vertical spectral adalah sama pada permukaan tanah. Ini sangat berbahaya jika amplifikasi tanah sangat kuat secara signifikan. Pada analisis HVSr sedimen mungkin terkontaminasi respon bangunan, sehingga identifikasi resonansi dimungkinkan salah.



Gambar 1. Skema model metode FSR

Dimana $H(\omega)$ adalah karakter bangunan(amplifikasi bangunan), S_{xx} respon getaran dari bangunan dan S_{qq} respon getaran dari bangunan. Metode metode FSR ini yaitu metode fungsi transfer dari tiap lantai antara spektral bangunan dan spektral tanah. Fungsi transfer dari struktur telah diperkirakan oleh rasio spektral struktur dan spektral tanah atau spektral bidang bebas, ini disebut floor spektral rasio (FSR).Menurut Gosar metode Floor Spectral Ratio (FSR) merupakan metode standart. Untuk evaluasi kekuatan bangunan yang disebabkan getaran seismic dan karakteristik pembangunan dapat dilakukan dengan pencatatan rekaman mikrotremor.

Indeks kerentanan struktur terhadap bencana gempa dapat mengestimasi dengan menggunakan sudut drift. Hal tersebut terkait dengan percepatan gempa input dan perpindahan dari setiap lantai [4]. Parameter ini diperkirakan dari frekuensi dasar dan amplitudo dari setiap lantai yang diperoleh fungsi transfer dari struktur. Fungsi transfer dari struktur telah diperkirakan oleh rasio spektral struktur dan spektral tanah atau spektral bidang bebas, ini disebut floor spektral rasio (FSR).Menurut Gosar metode Floor Spectral Ratio (FSR) merupakan metode standart. Untuk evaluasi kekuatan bangunan yang disebabkan getaran seismic dan karakteristik pembangunan dapat dilakukan dengan pencatatan Ambient.



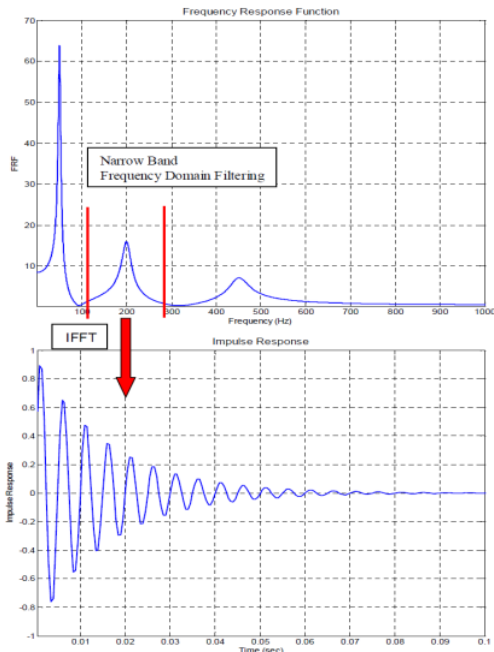
Gambar 2. Skema model-n lantai struktur dan bentuk modanya.

$$evK_b = \frac{A}{(2\pi F)^2} \frac{10000}{H} \tag{1}$$

E. Analisis Mikrotremor RDM

Metode random decrement merupakan teknik yang paling populer dalam survei geoteknik dan geofisika digunakan untuk identifikasi karakteristik dinamik dan deteksi kerusakan suatu bangunan dari respon suatu gempa. Konsep RDM adalah respon dinamis dari sebuah system untuk sebuah eksitasi acak Tujuannya yaitu membatalkan komponen acak untuk mendapatkan kurva getaran bebas yang buruk dari perkiraan damping dan frekuensi natural.RDM dikenal sebagai metode transform serangkaian waktu acak dalam pengurangan energy dari getaran bebas struktur bangunan

Sebuah ilustrasi skematis dari RDM diperlihatkan pada Gambar 2. yang menunjukkan proses untuk memperoleh random decrement. Pada tingkat amplitudo tertentu dan *fixed duration* (length) mencapai rata-rata randomec. Komponen random akan di filter. Representasi domain frekuensi menunjukkan puncak dominan dari system



Gambar 3. Skematis random decrement Methode. Respon frekuensi acak di filter ke dalam domain waktu menghasilkan respon getaran.

III. METODOLOGI

A. FSR

Analisis FSR menggunakan software geopsy, tahap awalnya adalah analisis spektrum *Fourier* yang berfungsi untuk mengubah data mikrotremor awal yang berupa domain waktu (*time series*) ke domain frekuensi. Algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT), Dalam analisis spektrum, masing-masing panjang perekaman dipisah menjadi 20 sampai 40 sekon non *overlapping window*. Untuk menghaluskan hasil proses FFT, digunakan filter smoothing Konno dan Ohmachi dengan koefisien bandwidth sebesar 40. Spektrum amplitudo rata-rata untuk masing-masing komponen dihitung dari *window* yang terseleksi. Kemudian, untuk memperoleh frekuensi natural bangunan dilakukan dengan menggunakan analisis FSR (*Floor Spectra Ratio*) yang dijadikan sebagai analisis spektrum pada pengukuran lantai bangunan terhadap tanah di bawahnya. Hasilnya adalah rata-rata frekuensi natural bangunan dan frekuensi natural tanah.

B. RDM

Pengolahan data mikrotremor untuk mengetahui karakteristik dinamik suatu bangunan dengan menggunakan metode RDM. Tahap awal sebelum melakukan proses RDM yaitu menggunakan analisis band pass filter untuk menentukan frekuensi yang diinginkan. parameter band pass filter ini di ambil dari hasil range frekuensi pada analisis metode FSR Frekuensi dipakai mulai dari 1 Hz – 10 Hz. Menghitung damping ratio dan frekuensi natural struktur bangunan digunakan metode RDM (random Decrement metode dengan menganalisis sinyal dari hasil filter . menghasilkan getaran bebas. Dari hasil getaran bebas ini dihasilkan damping ratio dan frekuensi natural struktur. Analisis ini menggunakan *damping toolbox* pada *software geopsy*.

IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Data

Tabel 1.
Hasil nilai RDM dan FSR arah EW

Lantai	RDM		FSR		
	Fo	z(%)	fo	A	k
2	1.54	5.67	1.45	3.63	110.17
3	1.64	5.23	1.48	5.15	74.49
4	1.79	8.59	1.52	5.22	47.84
5	1.65	6.28	1.48	7.54	54.49
6	1.61	5.65	1.46	8.02	47.50
7	1.66	7.48	1.48	12.38	57.25

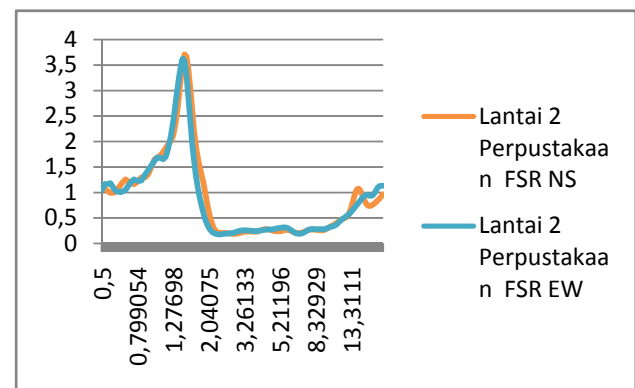
Tabel 2.
Hasil nilai RDM dan FSR arah NS

Lantai	RDM		FSR		
	Fo	z(%)	fo	A	K
2	1.51	6.9	1.48	3.71	107.17
3	1.54	3.35	1.5	5.34	75.31
4	1.63	6.18	1.52	5.51	50.51
5	1.54	4.38	1.52	6.33	43.56
6	1.51	5.03	1.48	8.85	51.16
7	1.54	5.04	1.52	12.13	53.40

B. Pembahasan

1. Analisis FSR

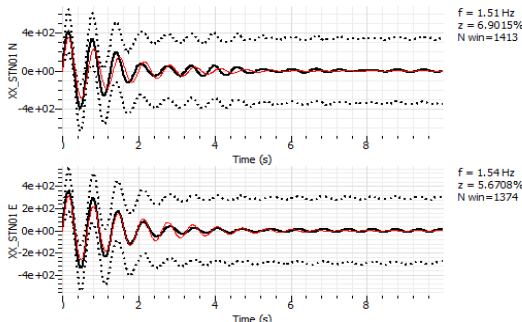
Analisis FSR untuk menentukan frekuensi natural digunakan perhitungan FSR terlebih dahulu kemudian frekuensi natural di ambil dari perolehan amplitude tertinggi dari komponen FSR tersebut. Secara umum komponen spektrum bangunan tidak ada di bawah 1 Hz. Jika ada amplitudo yang muncul pada frekuensi dibawah 1 maka frekuensi tersebut harus diabaikan. Dari hasil FSR diperoleh nilai Frekuensi natural dan nilai FSR. Pada gambar 4.6 di bawah ini menunjukkan nilai FSR EW dan NS. Nilai FSR lantai 2 tersebut 3.63 dan nilai frekuensi natural yang didapat 1.45 Hz. Rata – rata nilai frekuensi bangunan gedung perpustakaan untuk EW adalah 1.47 Hz dan NS 1.50 Hz. Nilai Rata- rata FSR EW 7.02 dan NS 6.97.



Gambar 4. Grafik hasil analisis FSR titik akusisi lantai 2 dengan sumbu X menunjukkan frekuensi hasil analisis spektrum dan sumbu Y menunjukkan amplifikasi spektrum.

2. Analisis RDM

Prinsip dari analisis RDM merupakan teknik yang digunakan untuk menghitung damping ratio (rasio redaman) bangunan dengan melakukan band pass filtering dan evaluasi frekuensi natural dari spektrum Fourier terlebih dahulu sebelum dilakukan analisis RDM dihasilkan Ratio redaman dari arah EW berkisar 5 – 7 % dan NS 3- 6.5 %. untuk rata-rata frekuensi RDM EW 1.56 Hz dan NS 1.66 Hz [5].

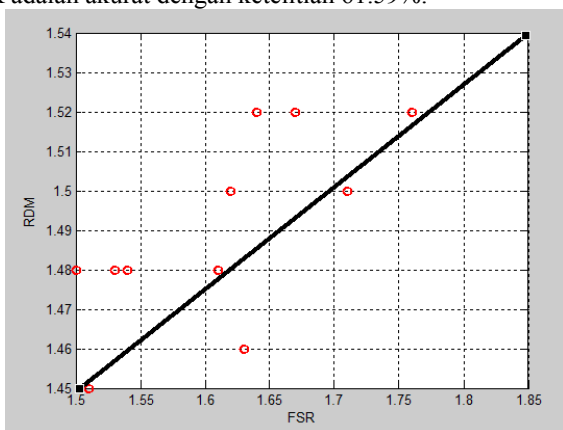


Gambar 5. Grafik RDM arah NS dan EW

Gambar 5 diperoleh setelah menggunakan analisis bandpass filter. Penentuan filter ini sangat penting karena untuk menghasilkan data RDM yang akurat dan mendekati data FSR. jika data yang dihasilkan tidak sama atau berbeda sangat jauh maka hasil RDM tidak akurat dan analisis RDM di ulang dengan filter yang tepat. Hasil ratio redaman dan frekuensi.

3. Korelasi frekuensi Natural FSR dan RDM

Untuk mengetahui hasil keakuratan parameter diperlukan validasi frekuensi yang diperoleh dari proses pendekatan RDM dan FSR. Hasil analisis struktur gedung tujuh lantai dengan mikrotremor dari kedua Table 1 dan 2 , Validasi ini dilakukan dengan mengkorelasikan nilai antara data pengukuran dan prediksi (di asumsikan dari nilai RDM dan FSR sama). Hasil korelasi adalah 0,705 dan root-mean-square-error (RSME) mencapai 0,201 maka ratio redaman yang dihasilkan RDM dan Amplifikasi yang diperoleh dari metode FSR adalah akurat dengan ketelitian 61.59%.



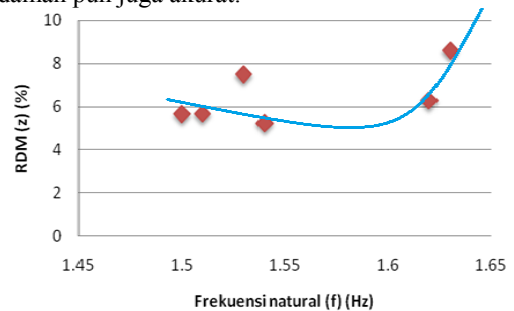
Gambar 6. Perbandingan frekuensi natural dari RDM dan FSR

Analisis Gambar 6 Perbandingan frekuensi dari FSR dan frekuensi dari RDM menunjukkan linear . Hasil linear ini membuktikan bahwa nilai antara RDM dan FSR hampir sama atau mendekati. Jika nilai frekuensi FSR dan RDM mendekati

maka analisis yang dilakukan adalah menghasilkan data yang akurat [6].

4. Hubungan Frekuensi Natural dan Rasio Redaman

Evaluasi Frekuensi dengan redaman adalah teknik yang paling baik untuk mendeteksi kekakuan suatu struktur gedung. Nilai-nilai redaman berasal dari getaran lingkungan tidak dapat diekstrapolasi langsung dengan nilai-nilai redaman dari struktur bangunan: non-linear (bahan), maka diperlukan analisis hubungan Frekuensi natural dengan Ratio redaman [7]. Nilai damping ratio antara 3 – 7%. nilai ini sudah memenuhi standart untuk kualitas struktur gedung bertingkat redaman kritis yaitu 10%. Sedangkann nilai frekuensi yang dihasilkan adalah antara 1.5 – 1,8 Hz. Kemudian nilai ini dikorelasikan untuk mendapatkan hasil . Menggunakan estimasi regresi robust untuk mengetahui hubungan keduanya. Di hasilkan R² memiliki nilai 0,614 yang memiliki arti bahwa memiliki ketelitian 61,4% menunjukkan hubungan variable sangat kuat. Jadi nilai frekuensi berasal dari rekaman getaran ambient merupakan nilai-nilai frekuensi akurat dan nilai redaman pun juga akurat.

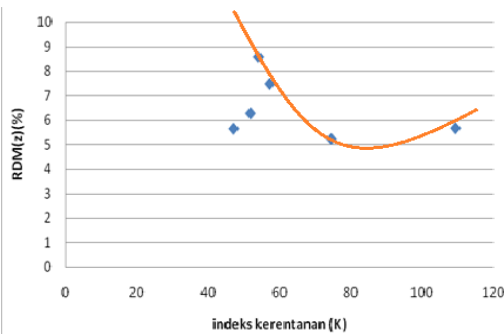


Gambar 7. Perbandingan frekuensi dengan RDM

Gambar 7 perbandingan antara frekuensi natural dan RDM menghasilkan penurunan rasio redaman dengan menurunnya frekuensi dasar, rasio redaman dengan frekuensi memiliki perubahan yang dekat. Penurunan tidak secara linear, disebabkan karena hubungan frekuensi memiliki nilai yang sangat signifikan jika dibandingkan dengan redaman.

5. Hubungan Rasio Redaman dan Indeks Kerentanan

Dalam hubungan kedua parameter ini metode untuk mengetahui ratio redaman lebih mudah dibandingkan untuk mencari indeks kerentanan. Jika sama – sama untuk mencari kekuatan struktur bangunan. Gambar 8 grafik analisis hubungan ratio redaman dan indeks kerentanan pada bangunan dari pengukuran 6 lantai yang menggunakan regresi R² memiliki nilai 0.827. Menunjukkan hubungan indeks kerentanan berbanding terbalik dari ratio redaman. Indeks kerentanan untuk mengetahui kekuatan bangunan sedangkan ratio redaman diperoleh untuk meredam getaran yang ada pada struktur bangunan. Jadi indeks kerentanan menurun jika ratio redaman meningkat. Pada gambar terlihat kurva hiperbolik karena nilai ratio redaman tidak stabil cenderung mempunyai nilai yang sangat besar dari indeks kerentanan.



Gambar 8. Ratio redaman dengan indeks kerentanan

Gambar 4.5 grafik analisis hubungan ratio redaman dan indeks kerentanan pada bangunan dari pengukuran 6 lantai yang menggunakan regresi R^2 memiliki nilai 0.827. Menunjukkan nilai yang akurat.

6. Menentukan tingkat kekuatan bangunan

Kekuatan bangunan diidentifikasi oleh rasio redaman, frekuensi tinggi dan indeks kerentanan rendah ratio redaman memiliki batas sampai 10% untuk desain gedung bertingkat [7]. Berdasarkan hubungan ratio redaman dengan frekuensi natural dan indeks kerentanan menghasilkan asumsi sebagai berikut, yang pertama semakin tinggi gedung maka besar amplifikasi semakin besar. Kedua hubungan frekuensi RDM dan FSR yaitu nilai FSR sangat berpengaruh untuk menentukan nilai RDM oleh karena itu nilai harus akurat. Ketiga hubungan ratio redaman dengan frekuensi berbanding lurus tetapi tidak linear. Keempat hubungan ratio redaman berbanding terbalik dengan indeks kerentanan. Semakin besar ratio maka nilai indeks kerentanan semakin kecil. Jika kekuatan untuk meredam suatu bangunan tinggi maka bangunan tersebut memiliki kerentanan yang kecil [8].

Dari hasil evaluasi nilai setiap lantai harus sama karena dalam lingkungan satu gedung, tetapi tidak menutup kemungkinan juga ada perbedaan nilai di tiap lantai disini dapat diketahui lantai 2 memiliki struktur yang paling lemah dibandingkan dengan lantai yang lain. Lantai 2 gedung ini memiliki nilai indeks kerentanan paling tinggi jadi paling rentan dibanding semua lantai, selain itu jika ditinjau dari permukaan tanah alluvium (lunak) gedung ini juga berpotensi rusak jika merespon getaran gempa. Semua parameter mampu mengidentifikasi bangunan kekuatan tingkat.

V. KESIMPULAN

Frekuensi Natural Gedung Perpustakaan ITS dari hasil FSR antara 1.45 – 1.52 Hz. Hasil RDM antara 1.51 – 1,66 Hz. Menghasilkan korelasi 0.705 maka dari hasil validasi nilai frekuensi natural RDM dan FSR adalah akurat. Nilai damping ratio bervariasi antara 3 – 7 % sesuai dengan ratio redaman untuk gedung bertingkat 10%. Indeks kerentanan di gedung perpustakaan ITS menunjukkan nilai yang bervariasi antara 43 – 107 untuk EW dan 45 – 107 untuk NS. Adapun nilai kerentanan 107 terukur di lantai 2. sehingga lantai 2 memiliki kerentanan yang paling tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kedua Orang tua, Dosen pembimbing Dr.A.Syaeful Bahri, S.Si, MT, dan teman – teman yang telah membantu menyelesaikan penelitian ini. Terima kasih kepada Direktorat Pendidikan Tinggi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Terima kasih kepada orang-orang yang telah mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Irsyam, 2010, *Sejarah Gempa bumi di Surabaya berdasarkan nilai PGA*, Jakarta.
- [2] Seed, H. B. and Schnabel, P. B., 1972, *Soil and Geological Effects on Site Response During Earthquakes*. Proc. of First International Conf. on Microzonation for Safer Construction – Research and Application, vol. I, pp 61-74.
- [3] Tuladar, R. (2002). Seismic microzonation of greater bangkok of greater Bangkok using microtremor observations. Thesis Asian Institute of Technology School of Civil Engineering. Thailand.
- [4] Nakamura, Yutaka, 2008, *The change of the dynamic characteristics using microtremor*, Dept. of Built Environment, Tokyo Institute of Technology, Japan.
- [5] Sungkono, 2011, *Evaluation Of building Strength from Microtremor analyses*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [6] M. Herak, 2011, "Overview of recent ambient noise measurements in Croatia in free-field and in buildings", *Geofizika*, vol.28.
- [7] Farsi, 2001, *Evaluation of the Quality of Repairing and Strengthening of Buildings*, National Centre of Earthquake Engineering (CGS), Algiers, Algeria.
- [8] Triwulan, W. Utama, D.D. Warnana, Sungkono, 2010, *Vulnerability index estimation for building and ground using microtremor*. Aptecs 2nd. International Seminar on applied Technology, Science and Arts. Graha Sepuluh Nopember, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. 21- 22 Desember.