

Kajian Eksperimental Parameter Modal Bangunan Dua Lantai dengan Metode Modal Analisis

Islahuddin^{1)*}, Meifal Rusli²⁾, Mulyadi Bur^{3)*}

¹⁾Mahasiswa Program Magister Teknik Mesin, Universitas Andalas,
Kampus Limau Manis, Padang-25163

^{2,3)}Jurusan Teknik Mesin, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang-25163

Abstrak

Pengukuran getaran merupakan kegiatan yang umum dilakukan dalam perawatan prediktif. Perawatan prediktif biasanya menggunakan pengukuran sinyal getaran untuk mendeteksi kerusakan yang terjadi pada mesin. Sinyal getaran yang terukur tersebut, kemudian ditransformasikan dalam bentuk grafik fungsi respon frekuensi (FRF). Selanjutnya FRF diolah sedemikian rupasehingga diperoleh modus getar struktur. Dari modus getar yang diperoleh, maka dapat dianalisa kemungkinan kerusakan yang terjadi pada mesin dengan melihat besarnya amplitudo getarannya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa karakteristik dinamik dari sistem getaran yang terjadi pada model struktur bangunan dua lantai. Pengujian dilakukan denganmemberikan gaya eksitasi menggunakan *impact hammer*. Akselerometer digunakan mengukur sinyal getaran yang terjadi pada struktur. Posisi penempatan akselerometer dilakukan bervariasi untuk delapan titik pengujian yang berbeda. Sedangkan posisi pemberian gaya eksitasi tetap untuk semua titik pengujian. Pada penelitian ini menggunakan metode modal analisis eksperimen untuk mengetahui karakteristik dinamik dari model struktur bangunan dua lantai. Teknik modal analisis ini digunakan untuk mendapatkan parameter modal seperti frekuensi, rasio redaman, dan modus getar. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwafrekuensi pribadipertama pada amplitudo maksimum mempunyai nilai yang sama, yaitu 2,313 Hz. Sedangkan untuk frekuensi pribadi kedua pada amplitudo maksimumnya terdapat perbedaan, yaitu pada titik pengujian 3 dan 7. Hal ini dapat disebabkan oleh pemberian gaya eksitasi yang tidak sama dengan titik-titik pengujian yang lain.

Kata kunci: Karakteristik dinamik, analisis modal eksperimen, frekuensi pribadi, FRF

Abstract

Measuring vibration is an activity which is generally carried out in a predictive maintenance. In maintaining, vibrat signal measurement is usually used for machine damage detection. The signal measurement is then being transformed in a FRF graph. FRF will then be processed in order to get structure mode shape. From the shape mode, analysis of the machine damage by looking at save amplitude value may be done. The purpose of this research is analyzing the dynamic character of vibration behavior on the structure model of two floor building. The testing is carried out by implementing excitation force by using impact hammer. Accelerometer is used to measure structure vibrate signal. The position of accelerometer is variety for every eight different testing area. Meanwhile, the position of excitation force is the same for all area of testing. This research applied experimental analysis modal method in order to identify dynamic characteristic of the structure model of two floor building. The aims of analysis modal technique are getting the modal parameter such as frequency, damping ratio, and mode shapes. The result of this research is the first natural frequency on the maximum amplitude is the same of 2,313 Hz. While, for the second natural frequency on the maximum amplitude is different on area 3 and area 7. This happened as the effect of the differences of excitation force in the testing area.

Keywords: Dynamic characteristic, experimental modal analysis, natural frequency, FRF

1. Pendahuluan

Fenomena getaran sering ditemukan pada mesin di industri manufaktur. Mesin yang beroperasi secara terus menerus suatu saat akan mengalami kerusakan. Kerusakan mesin tersebut dapat berupa kerusakan pada bantalan (*bearing fault*), putaran dari massa yang tidak seimbang, dan ketidaklurusan kedua poros (*misalignment*). Ketidaknormalan kondisi operasi mesin dapat menyebabkan terjadinya getaran. Komponen mesin yang beroperasi dengan tidak normal secara terus-menerus, berpotensi menyebabkan terjadinya kegagalan (*breakdown*) pada mesin. Hal

seperti ini harus dihindari dalam kegiatan produksi, karena akan memakan biaya produksi yang tinggi.

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengantisipasi terjadinya kegagalan pada komponen mesin produksi adalah dengan melakukan perawatan dan pencegahan secara berkelanjutan. Dalam hal ini, pencegahan yang dapat dilakukan berupa pengukuran getaran mesin. Dari pengukuran getaran mesin akan diperoleh frekuensi pribadi dan modus getar. Nilai frekuensi pribadi pada saat amplitudo maksimum dapat digunakan sebagai pembanding dengan frekuensi pribadi mesin yang beroperasi secara normal. Oleh sebab itu, pengukuran getaran mesin merupakan suatu hal yang sangat penting.

*Korespondensi: Tel./Fax.: -/
E-mail: mulyadibur@ft.unand.ac.id
©Teknik Mesin Universitas Udayana 2016

Zhang [1], menggunakan Experimental Modal Analysis (EMA) untuk mengetahui karakteristik redaman pasir yang digunakan sebagai pondasi, terhadap berbagai jenis pembebanan baik *sinusoidal, random, maupun impulse*.

Priatama [2], melakukan penelitian tentang jaringan sensor nirkabel untuk memantau kondisi suatu struktur bangunan, dengan pengamatan terhadap perilakunya berupa getaran. Pembacaan terhadap getaran dilakukan dengan menggunakan sensor getaran (akselerometer) yang ditempatkan pada elemen struktur. Sensor ini membaca perilaku getaran pada sumbu x dan y. Kemudian dari data percepatan yang diperoleh diketahui perilaku simpangan yang terjadi pada model struktur bangunan.

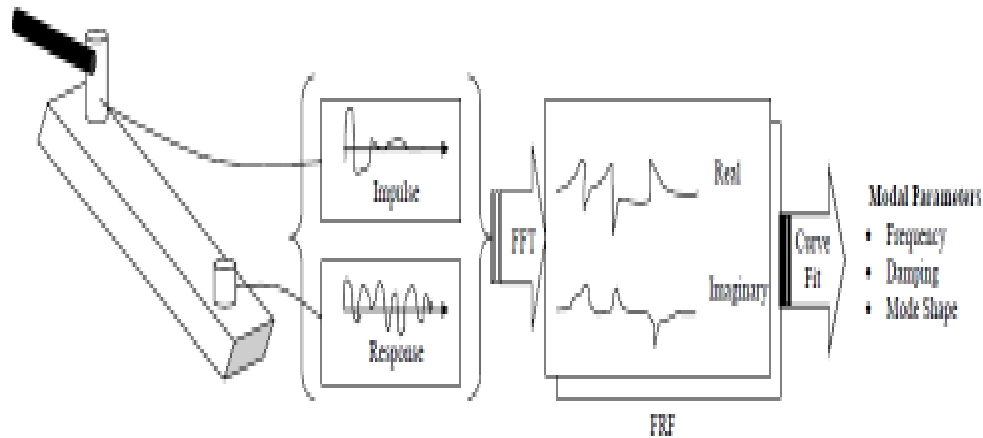
Pada penelitian ini, metode EMA dilakukan menggunakan sensor akselerometer untuk mengukur respon dari model struktur bangunan dua lantai terhadap gaya eksitasi yang berasal dari *impact hammer*. Hasil dari pengujian ini berupa grafik *frequency response function* maupun grafik koherensi yang diperoleh dari respon struktur terhadap gaya eksitasi.

EMA dengan menggunakan *impact hammer* dipilih sebagai metode yang digunakan dalam penelitian ini karena metodenya sederhana namun memberikan hasil yang baik [3].

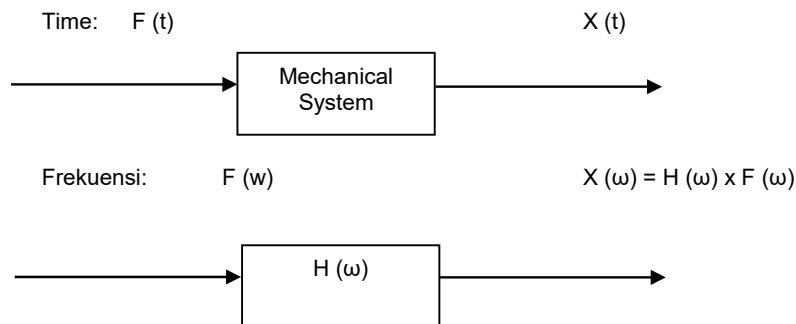
2. Analisis Modal Eksperimen

Analisis modal eksperimen (experimental modal analysis) merupakan prosedur yang digunakan untuk menggambarkan modal parameter seperti frekuensi pribadi, modus getar, dan rasio redaman dari struktur [4]. Proses pengujian EMA secara umum dapat dilihat pada Gambar 1.

Dalam analisis modal eksperimen, gaya eksitasi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu *impact excitation* dan *shaker excitation*[6]. *Impact excitation* merupakan pengujian getaran dengan memberikan impuls menggunakan *impact hammer*. Impuls yang diberikan akan dirubah oleh *load cell* pada *impact hammer* menjadi sinyal digital. Sedangkan pengujian getaran dengan *shaker excitation* dilakukan dengan menggunakan alat pembangkit sinyal getaran ke sistem yang akan diukur getarannya.



Gambar 1. Ilustrasi EMA [5]



Gambar 2. Diagram blok fungsi respon frekuensi [5]

Pada penelitian ini, sinyal getaran yang terukur ketika *impact hammer* memberikan gaya

eksitasi ke struktur bangunan dua lantai dan akselerometer memperoleh sinyal respon, maka

keduanya masih dalam *domain* waktu. Kemudian sinyal tersebut dirubah dengan transformasi Fourier cepat dalam domain frekuensi. Proses transformasi sinyal dapat dilihat pada Gambar 2.

Frequency Response Function $\{H(\omega)\}$ merupakan perbandingan antara respon (output) struktur terhadap gaya eksitasi (*input*). Gaya input $\{F(\omega)\}$ dan respon struktur $\{X(\omega)\}$ merupakan nilai yang akan diukur dalam modal analisis. Gaya input dihasilkan *impact hammer* sedangkan respon struktur dihasilkan oleh pengukuran akselerometer.

3. Metode Penelitian

3.1. Perangkat Pengujian

Perangkat pengujian yang digunakan pada model bangunan dua lantai ini terdiri dari beberapa komponen utama seperti *Impact Hammer*, *Pulse Analyser*, *Power Supply*, Akselerometer, dan *Personal Computer (PC)* untuk visualisasi pencuplikan data. Susunan perangkat pengujian ditunjukkan pada Gambar 3.

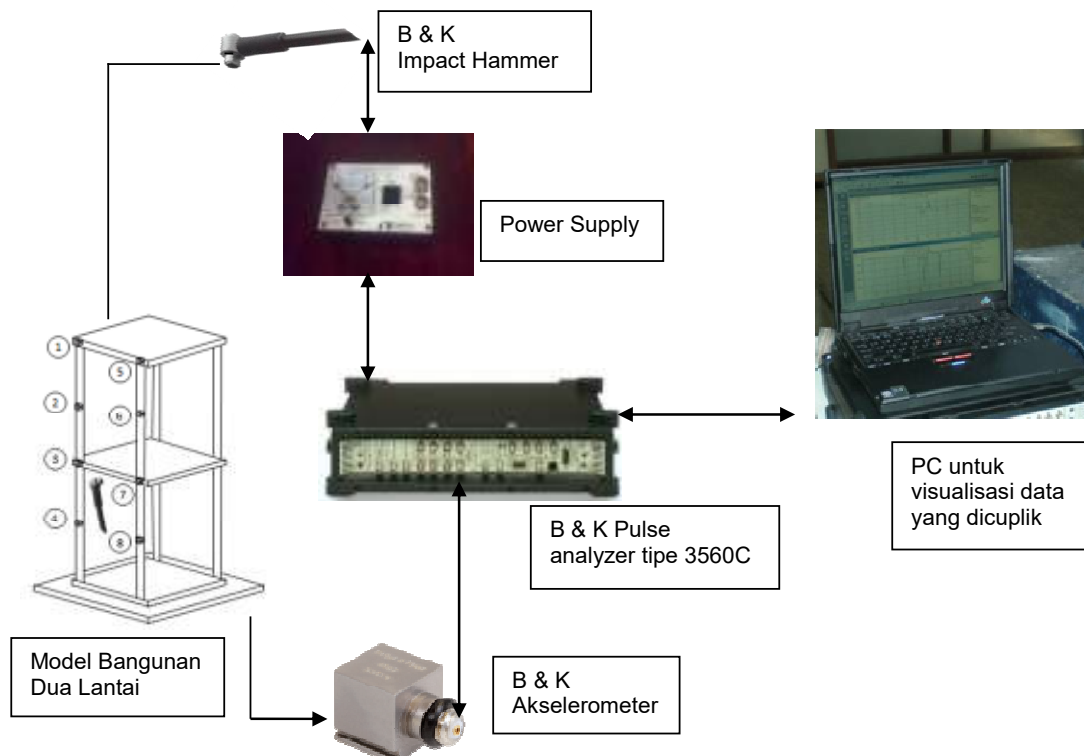
Impact hammer digunakan untuk memberi gaya impuls pada model struktur bangunan dua

lantai. Sensor akselerometer berfungsi untuk mengukur respon getaran bangunan dua lantai berupa percepatan. *Power supply* berfungsi memberikan suplai daya pada akselerometer. *Pulse analyser* berfungsi untuk mentransformasikan sinyal input dari *impact hammer* dan akselerometer ke dalam bentuk fungsi respon frekuensi, dan PC untuk visualisasi data yang dicuplik.

Pada pengujian posisi pemberian gaya eksitasi tidak mengalami perubahan selama pengujian, sedangkan posisi akselerometer berubah sesuai dengan posisi titik-titik pengujian (1,2,3,4,5,6,7,8).

Hasil pengujian berupa gaya eksitasi *impact hammer* dan respon model bangunan dua lantai dalam bentuk percepatan akan berada dalam domain waktu (*time domain*).

Kemudian untuk memperoleh nilai dari parameter modal, maka data pengukuran dalam domain waktu tersebut akan dirubah menjadi data dalam domain frekuensi dengan *fast Fourier transform (FFT)*.

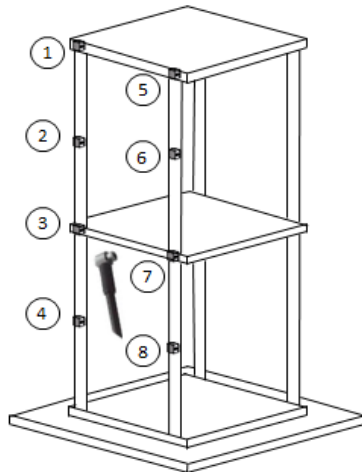


Gambar 3. Susunan perangkat pengujian

Pengujian dilakukan pada delapan posisi pengujian yang berbeda. Posisi titik satu berada di sudut kiri atas lantai dua model bangunan dua

lantai, sedangkan posisi titik dua berada ditengah titik satu dan tiga. Posisi titik tiga berada disudut kiri lantai satu dan posisi titik empat berada

ditengah kolom lantai dasar dengan lantai satu. Secara keseluruhan posisi penempatan akselerometer pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Posisi akselerometer pada titik pengujian

3.2. Prosedur Pengujian

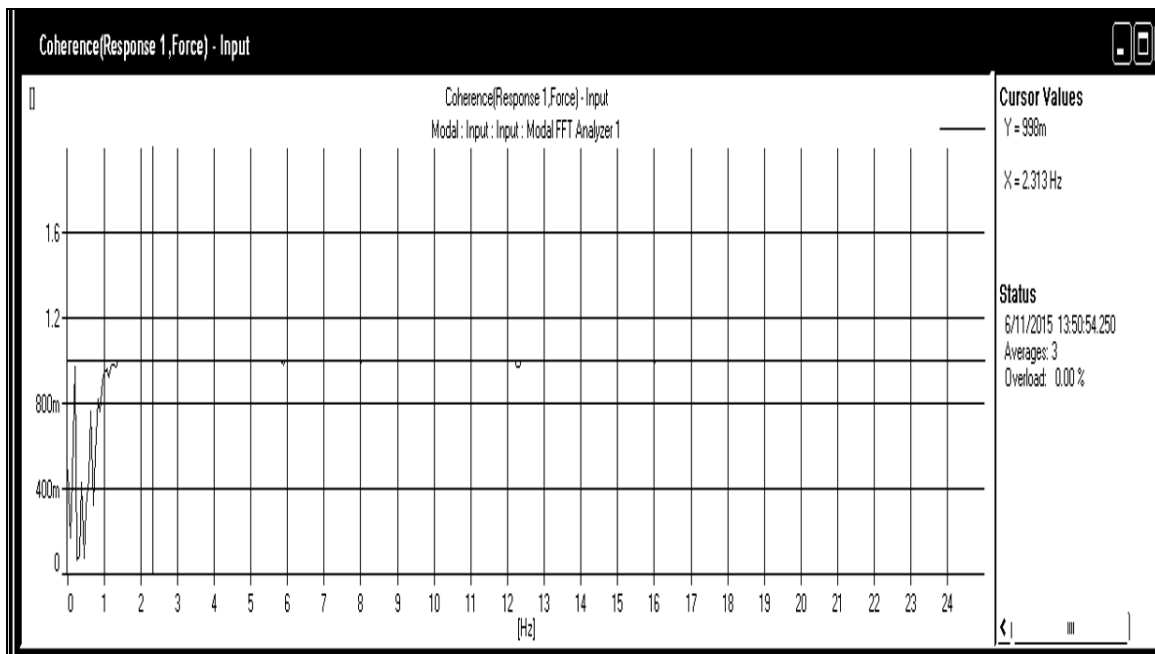
1. Persiapkan peralatan pengujian getaran seperti terlihat pada Gambar 4 di atas.
2. Pada model struktur bangunan dua lantai, akselerometer ditempelkan pada titik 1.
3. Jalankan perangkat lunak untuk pencuplikan data.

4. Kemudian gaya eksitasi diberikan pada tengah bidang lantai pertama model bangunan dua lantai, dengan cara memukulnya dengan *impact hammer*, seperti pada Gambar 4.
5. Pengukuran respon getaran dilakukan terhadap titik pengujian sehingga diperoleh data hasil pengukuran dalam grafik FRF (*frequency domain*).
6. Data hasil pencuplikan disimpan dalam file berekstensi *.txt, kemudian data tersebut diolah dengan Microsoft Excel.
7. Langkah yang sama dilakukan untuk posisi pengujian titik 2 sampai titik 8 dengan memvariasikan posisi akselerometer pada delapan titik yang berbeda.

Dari grafik hubungan amplitudo dengan frekuensi dalam Gambar 5 terlihat bahwa ada beberapa puncak amplitudo yang didapatkan dari pengujian. Dalam hal ini terdapat dua puncak amplitudo (amplitudo maksimum) getaran dimana masing-masing diperlihatkan pada grafik hasil pengujian. Pada Gambar 5, besarnya frekuensi pribadi pada titik pengujian pertama model bangunan dua lantai ditentukan berdasarkan posisi puncak amplitudo. Besarnya frekuensi pribadi pada kedua puncak amplitudo tersebut, secara berurutan diperoleh 2,313 Hz dan 6,188 Hz. Secara keseluruhan, pengujian dilakukan pada rentang frekuensi 0-200 Hz. Untuk lebih jelasnya diambil *sampling* hasil pengujian FRF di titik 1 yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil pengujian FRF di titik 1



Gambar 6. Hasil pengujian nilai koherensi titik 1

Dalam analisis modal eksperimental, grafik koherensi merupakan suatu hal yang sangat penting. Grafik koherensi digunakan untuk melihat kualitas hasil pengukuran. Hasil pengukuran dengan nilai yang mendekati 0 merupakan kualitas pengukuran yang jelek sedangkan hasil pengukuran yang mendekati 1 merupakan kualitas pengukuran yang sangat baik. Jadi nilai koherensi hasil pengukuran berada di rentang 0 sampai 1.

Grafik koherensi ini ditentukan oleh gaya eksitasi (input) yang diberikan pada saat pengujian. Pemberian gaya eksitasi yang stabil, dalam hal ini sama besarnya akan menghasilkan grafik koherensi yang lebih baik. Dalam pengujian ini pemberian gaya eksitasi dilakukan sebanyak 3 kali untuk satu titik pengujian. Setelah itu diambil rata-rata dari tiga kali pemberian gaya eksitasi tersebut sehingga didapatkan nilai koherensinya. Sampel salah satu nilai koherensi pengujian ditunjukkan pada Gambar 6.

Grafik koherensi diperoleh saat pencuplikan data pengujian. Pada penelitian ini digunakan average sebanyak tiga kali sehingga didapatkan grafik pengujian yang memiliki koherensi yang mendekati satu. Secara keseluruhan nilai koherensi dari titik pengujian berada pada 0,90 sampai 0,95. Hal ini menggambarkan bahwa hasil pengukuran yang dilakukan cukup baik.

4. Hasil dan Pembahasan

Tabel 1 menunjukkan bahwa terdapat tiganilai frekuensi pribadi hasil pengujian untuk beberapa variasi posisi akselerometer. Namun ada dua nilai frekuensi pribadi dari hasil pengujian tersebut didapatkan pada saat amplitudonya maksimum

dari fungsi respon frekuensi model bangunan dua lantai. Hasil pengukuran frekuensi pribadi untuk frekuensi pertama memberikan hasil yang sama. Sedangkan untuk frekuensi pribadi kedua menunjukkan kecenderungan hasil yang hampir sama. Frekuensi pribadi pada posisi akselerometer di titik pengujian ketiga dan ketujuh terdapat sedikit perbedaan dengan hasil pengujian yang lain. Hal ini dapat disebabkan oleh pemberian gaya eksitasi sedikit berbeda dengan pengujian yang lain. Frekuensi dan rasio redaman hasil pengujian secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 1.

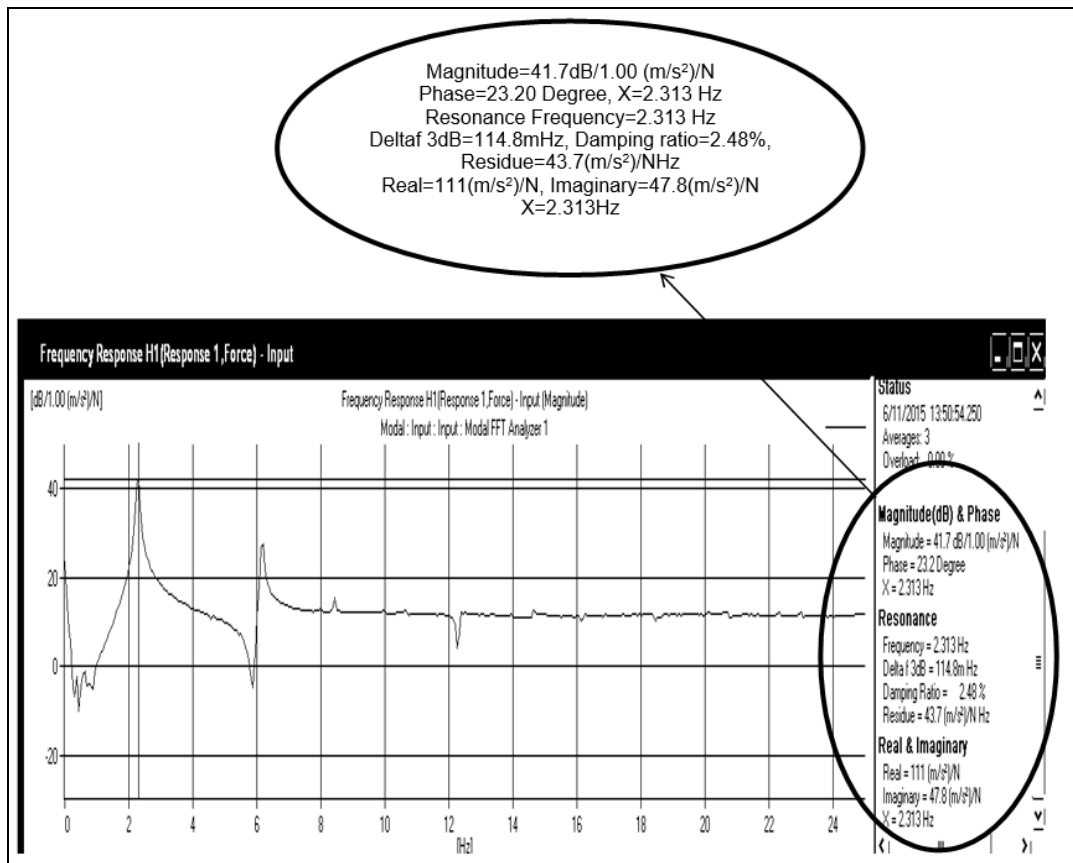
Rasio redaman untuk frekuensi pribadi pertama hasil berbeda satu sama lain. Demikian juga halnya dengan rasio redaman yang kedua menunjukkan hasil yang berbeda. Rasio redaman yang kedua menunjukkan kecenderungan penurunan. Namun persentase penurunan rasio redamannya tidak terlalu besar. Proses pencuplikan data pada pengujian ini sehingga didapatkan frekuensi pribadi dan rasio redaman dapat dilihat pada Gambar 7.

Selain frekuensi pribadi dan rasio redaman dari hasil pengujian juga diperoleh nilai real dan imajiner FRF yang disimpan dalam bentuk format *.txt. Kemudian nilai imajiner ini diplot dalam bentuk grafik dengan frekuensi pribadi, seperti pada Gambar 8.

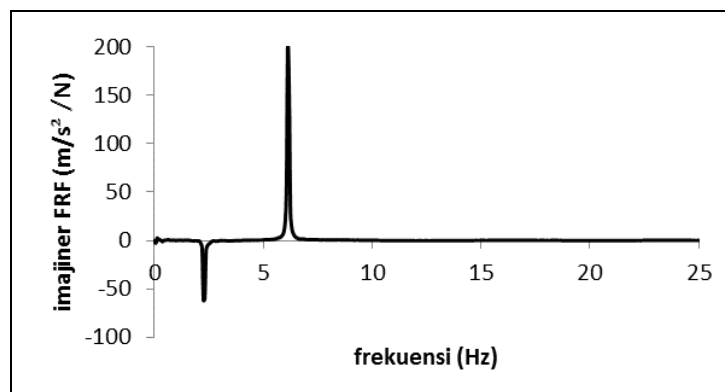
Gambar 8 merupakan salah satu contoh grafik imajiner FRF vs frekuensi hasil perhitungan. Bila FRF pada frekuensi pribadi yang sama dihubungkan satu sama lain dari posisi 1 sampai dengan 8, maka akan diperoleh grafik modus getar.

Tabel 1. Frekuensi pribadi dan rasio redaman dengan metode EMA

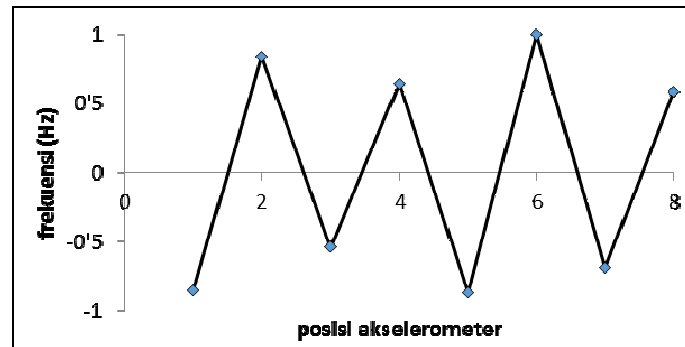
Posisi akselerometer	Frekuensi pribadi, ω (Hz) dan rasio redaman, ξ (%)			
	ω_1 (Hz)	ξ_1 (%)	ω_2 (Hz)	ξ_2 (%)
1	2.313	2.48	6.188	0.964
2	2.313	2.23	6.188	0.99
3	2.313	2.4	6.125	0.897
4	2.313	1.85	6.188	0.844
5	2.313	2.22	6.188	0.948
6	2.313	1.91	6.188	0.738
7	2.313	2.6	6.125	1.04
8	2.313	2.6	6.188	1.01



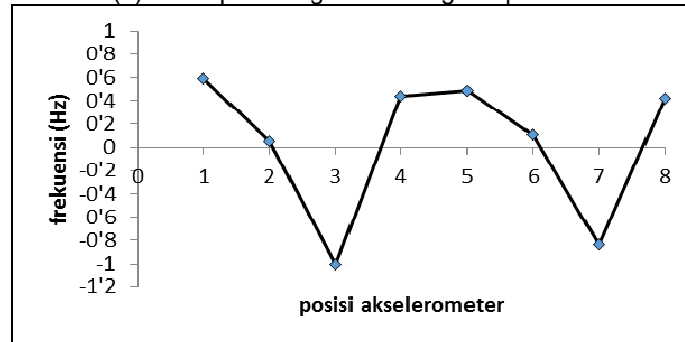
Gambar 7. Grafik FRF frekuensi pribadi di titik 1



Gambar 8. Imajiner FRF dengan frekuensi



(a) Hasil perhitungan modus getar pertama

(b) Hasil perhitungan modus getar kedua
Gambar 9. Hasil perhitungan modus getar

Modus getar adalah pola getar benda uji ketika bergetar pada salah satu frekuensi pribadinya. Pada penelitian ini didapatkan dua modus getar dari model bangunan dua lantai. Adapun dua modus getar yang didapatkan dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 9 (a) dan Gambar 9 (b). Bentuk modus getar pertama untuk frekuensi pribadi 1 dan modus getar kedua untuk frekuensi pribadi 2 diperoleh berdasarkan hasil perhitungan menggunakan *Microsoft Excel*.

4. Simpulan

Pada penelitian ini diperoleh dua nilai amplitudo maksimum, dimana nilai amplitudo maksimum yang pertama berada pada frekuensi pribadi yang sama untuk delapan titik pengujian, yaitu 2,313 Hz. Sedangkan nilai amplitudo maksimum yang kedua terdapat perbedaan nilai frekuensi pribadinya. Frekuensi pribadi yang berbeda tersebut terletak pada titik 3 dan titik 7, yaitu 6,125 Hz. Hal ini dapat disebabkan oleh pemberian gaya eksitasi yang sedikit berbeda dengan titik pengujian yang lain.

Rasio redaman secara keseluruhan menunjukkan hasil yang berbeda satu sama lain. Rasio redaman pada frekuensi pribadi kedua menunjukkan adanya penurunan dari frekuensi pribadi pertama. Pengujian yang dilakukan mempunyai nilai koherensi antara 0,9 sampai dengan 0,95. Hal ini menandakan bahwa kualitas hasil pengukuran sudah baik.

Daftar Pustaka

- [1] Zhang, X.J and Aggour, M.S., *Damping Determination of Sand under Different Loadings*, Paper No.364, Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Elsevier Science Ltd, 1996.
- [2] Priatama, A.S., *Sistem Pemantauan Kondisi Struktur Bangunan Menggunakan Jaringan Sensor Nirkabel*, digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-9425-2205100013-Paper.pdf, diakses tanggal 26 Juli 2013, 2009.
- [3] Carne, T.G. and Stasiunas, E.C., *Lessons Learned in Modal Testing-Part 3: Transient Excitation for Modal Testing, More Than Just Hammer Impacts*, *Experimental Techniques*, May/Juni 2006, pp. 69-79.
- [4] Rovenscek, D., Slavic, J., Miha, B., *The use of strain sensors in an experimental modal analysis of small and light structures with free-free boundaries conditions*, *Journal of Vibration and Control*, Vol. 19, Issue 7, May 2013, pp. 1072-1079, 2013.
- [5] Azoury, C., Kallasy, A., Combes, B., Boudet, R., *Experimental and Analytical Modal Analysis of a Crankshaft*, *Journal of Engineering*, Vol. 2(4), pp. 674-684, April 2012.
- [6] Avitabile, P., *Experimental Modal Analysis: A Simple Non-Mathematical Presentation*, University of Massachusetts Lowell, Lowell, Massachusetts, -.