

Pendekatan Eksperimen Karakteristik Respon Getaran Sistem *Two Degree of Freedom* dengan Penambahan *Independent Dual Dynamic Vibration Absorber*

Susastro¹, Novi Indah Riani²

¹Prodi DIII Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro, Indonesia

²Prodi Teknik Mesin Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Indonesia

Article history: Received: 30/10/2018; Revised:25/11/2018; Accepted: 25/12/2018

ABSTRAK

Getaran merupakan salah satu permasalahan yang harus dikurangi pada sebuah kendaraan. Banyak cara yang dilakukan untuk mengurangi getaran pada kendaraan, salah satunya dengan penambahan Dynamic vibration absorber (DVA). Sedangkan Dual Dynamic vibration absorber (dDVA) merupakan sebuah masa DVA yang mampu bergerak pada arah translasional yang diberikan pada sistem guna meredam getaran translasi dan saat terjadi resonansi. Translation DVA merupakan jenis masa tambahan yang digunakan untuk mereduksi getaran arah translasi. Selama ini tidak banyak penelitian terkait penggunaan translasional DVA untuk mereduksi getaran rotasi sekaligus translasi. Dalam penelitian ini dilakukan penelitian terkait penggunaan independent double translasional DVA (dDVA) untuk mereduksi getaran translasi sekaligus rotasi dari beam. Penelitian dilakukan dengan memodelkan sistem yang diperoleh kedalam persamaan matematika dan dilakukan simulasi untuk mengetahui karakteristik getaran yang timbul. Dalam simulasi salah satu dari masa DVA diletakkan pada pusat masa sistem utama, sedangkan satu masa DVA yang lainnya diberikan perubahan antara pusat masa hingga ujung dari sistem. Dari hasil penelitian ditunjukkan bahwa pengurangan getaran translasi yang maksimal adalah sebesar 95,51% dan terjadi saat masa absorber diletakkan pada pusat masa dari sistem, sedangkan pengurangan getaran rotasi maksimal adalah sebesar 56,62 % dan diperoleh saat sistem diberikan masa dengan rasio lengan 1 dan nol.

Kata kunci : double dynamic vibration absorber, getaran, translasi, rotasi.

ABSTRACT

Vibration is one of the problems that must be reduced in a vehicle. There are many ways to reduce vibration in vehicles, one of them is by adding Dynamic vibration absorber (DVA). While Dual Dynamic vibration absorber (dDVA) is a DVA period that is able to move in the translational direction given to the system to reduce translation vibration and when there is resonance. Translation DVA is an additional type of time used to reduce the vibration of the translation direction. So far there is not much research related to the use of translational DVA to reduce rotational vibrations as well as translation. In this study, a study was conducted related to the use of independent double translational DVA (dDVA) to reduce translation vibrations as well as rotation of the beam. The research was conducted by modeling the system obtained into mathematical equations and simulations were carried out to determine the characteristics of vibrations that arise. In the simulation, one of the DVA periods is placed at the center of the main system period, while the other DVA period is given a change between the center period and the end of the system. The results of the study show that the maximum reduction in translational vibration is 95.51% and occurs when the absorber is placed at the center of the system, while the maximum rotation vibration reduction is 56.62% and is obtained when the system is given with an arm ratio of 1 and zero.

Keywords: double dynamic vibration absorber, vibration, translation, rotation

PENDAHULUAN

Kualitas dari desain alat sebagai contoh dalam desain pompa dan genset tidak hanya dinilai dari *quality of conformance* atau parameter operasionalnya, namun

juga dari noise dan getaran yang timbul [1]. Timbulnya getaran yang terlalu berlebih tentu akan memberikan kerugian pada sistem terutama dalam hal kebisingan yang terlalu besar maupun *life cycle* yang lebih pendek. Oleh sebab itulah getaran yang berlebih perlu untuk

*Corresponding author.

E-mail address: susastro@live.undip.ac.id, noviindahriani@itats.ac.id

Peer reviewed under responsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

© 2018 Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, All right reserved, This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

dilakukan pengurangan. Salah satu cara mengurangi getaran sistem adalah dengan menambahkan *dynamic vibration absorber*. *Dynamic vibration absorber* merupakan masa dan pegas dengan konstanta tertentu yang diberikan pada sistem utama guna menciptakan antiresonansi pada getaran operasional dari sistem.

Keuntungan melakukan pengurangan getaran dengan DVA adalah tidak perlu dilakukannya perubahan desain mayor dari sistem utama yang telah di buat. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh frahm [2] dan watts [3]. Kelebihan pengurangan getaran dengan metode ini adalah kita tidak perlu melakukan redesign pada alat yang telah dibangun [4].

Beberapa penelitian terkait *dynamic vibration absorber* sudah banyak dilakukan. Beberapa peneliti terkait penggunaan DVA telah memfokuskan diri pada penggunaan masa tambahan berupa magnet [5,6]. Untuk dapat meredam sistem dengan dua derajat kebebasan juga telah dilakukan penelitian terkait penggunaan *dynamic vibration absorber* untuk meredam getaran 2-Degree of Freedom (DOF) [7-12]. terdapat beberapa metode dalam menambahkan *dynamic vibration absorber* guna mengurangi getaran pada sistem 2 DOF, diantaranya adalah dengan menambahkan variable inertia [7], menggunakan sebuah masa translasional *dynamic vibration absorber* [8,9], maupun dengan memberikan dua buah translasional *dynamic vibration absorber* yang kemudian disebut sebagai dual translasional *dynamic vibration absorber* [10-12]. Penggunaan dual translasional DVA dilakukan dengan memberikan dual translasional DVA yang diberikan perubahan lengan momen yang sama besar satu sama lain [11], untuk mengetahui efek penggunaan dual translasional DVA dengan lengan momen yang berbeda antar kedua masa DVA, maka dilakukan penelitian lebih lanjut [12]. Namun penelitian yang dilakukan hanyalah sebatas simulasi sehingga perlu dilakukan validasi kebenaran dengan membandingkan antara hasil simulasi yang diperoleh dalam penelitian [12] dengan menggunakan prototype uji DVA.

Dalam penelitian ini dilakukan proses perbandingan antara hasil simulasi dan eksperimen dari efek penggunaan dependent dual translasional *dynamic vibration absorber*. data hasil simulasi diperoleh dengan mensimulasikan kembali persamaan matematika dari literatur yang ada ke dalam software numerik. Sedangkan data hasil eksperimen diperoleh dari pengambilan data secara eksperimen laboratorium.

METODE

Persamaan Gerak

Dalam penelitian ini persamaan yang digunakan untuk simulasi diperoleh dari hasil studi literatur. Dari studi literatur diperoleh 4 buah persamaan gerak dan 2 buah persamaan eksitasi. Adapun persamaan gerak yang digunakan yang digunakan ditunjukkan sebagaimana persamaan 1 hingga 4 sebagai berikut.

$$y_{a2}'' = \frac{1}{M_a} [C_a \dot{y}_s - C_a d \dot{\theta} + k_a y_s - k_a d \theta - C_a \dot{y}_{a2} - k_a y_{a2}] \dots\dots\dots (1)$$

$$y_{a1}'' = \frac{1}{M_a} [C_a \dot{y}_s + C_a c \dot{\theta} + k_a y_s + k_a c \theta - C_a \dot{y}_{a1} - k_a y_{a1}] \dots\dots\dots (2)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{1}{I} [(-C_1 l_1 + C_2 l_2 + C_a d + C_a c) \dot{y}_s + (-k_1 l_1 + k_2 l_2 + k_a d + k_a c) y_s - C_a d \dot{y}_a - C_a c \dot{y}_b - k_a d y_a - k_a c y_b - m b \omega^2 R \sin(\alpha + 90) + m a \omega^2 R \sin(\alpha) - (C_1 l_1^2 + C_2 l_2^2 + C_a d^2 - C_a c^2) \dot{\theta} - (k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2 + k_a d^2 - k_a c^2) \theta] \dots\dots\dots (3)$$

$$\ddot{y}_s = \frac{1}{m_s} [m \omega^2 R \sin \alpha + m \omega^2 R \sin(\alpha + 90) + C_a \dot{y}_a + C_a \dot{y}_b + k_a y_a + k_a y_b - (C_1 + C_2 + 2C_a) \dot{y}_s - (k_1 + k_2 + 2k_a) y_s - (C_1 l_1 - C_2 l_2 - C_a d + C_a c) \dot{\theta} - (k_1 l_1 - k_2 l_2 - k_a d + k_a c) \theta] \dots\dots\dots (4)$$

Persamaan eksitasi yang bekerja dalam simulasi adalah berupa dua buah masa yang diputar dengan beda fasa sebesar 90°. Berdasarkan study literatur diperoleh 2 buah persamaan gerak seagaimana pada persamaan (5) dan (6).

$$F = m_s \cdot \omega^2 \cdot R \cdot \sin(\omega \cdot t) \dots\dots\dots (5)$$

$$F_2 = m \omega^2 R \sin(\alpha + 90) \dots\dots\dots (6)$$

Parameter Simulasi

Nilai parameter yang digunakan dalam simulasi merupakan parameter yang berasal dari penelitian terdahulu. Berdasarkan study literatur tersebut diperoleh parameter simulasi sebagaimana berikut:

m_s	: 13,88 Kg	k_1	: 38.800 N/m
m_m	: 5 Kg	k_2	: 38.800 N/m
m_{kp}	: 5 Kg	c_1	: 49,7 N.s/m
m	: 0,14 Kg	c_2	: 49,7 N.s/m
m_b	: 3,88 Kg	c_a	: 1,75 N.s/m
I	: 0,401 Kg.m ²		

Dalam penelitian ini besar kedua masa absorber adalah sama besar, yaitu sebesar $\frac{1}{40}$ dari masa total sistem. Dengan demikian maka kekakuan absorber yang digunakan masing-masing juga sebesar $\frac{1}{40}$ dari kekakuan total sistem.

Simulasi

Simulasi dilakukan dengan menggunakan program pada numerikan software. Dalam simulasi dilakukan beberapa normalisasi yaitu Rasio frekuensi translasi (r_f) dan Rasio frekuensi rotasi (r_{fr}). Rasio frekuensi translasi (r_f) merupakan hasil normalisasi frekuensi eksitasi terhadap frekuensi natural arah translasi. Rasio frekuensi rotasi (r_{fr}) merupakan hasil normalisasi antara frekuensi eksitasi terhadap frekuensi arah rotasi sistem. Untuk mempermudah proses perbandingan dengan hasil eksperimen maka lengan momen pada kedua masa absorber yang diberikan adalah sebesar nol, yang artinya bahwa kedua masa absorber terletak pada center of gravity dari sistem utama. Adapun frekuensi eksitasi divariasikan antara 0 Hz hingga 30 Hz.

Eksperimen

Eksperimen dilakukan dengan mengambil data response getaran berupa akselerasi pada alat uji Dual translasional - DVA sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengambilan data Secara Eksperimen

Pengambilan data dilakukan pada frekuensi 7 Hz hingga 21 Hz. Data yang diperoleh kemudian di olah untuk memperoleh data berupa RMS percepatan pada setiap set point frekuensi. Hasil pengolahan data kemudian dilakukan perbandingan dengan grafik hasil RMS percepatan hasil simulasi untuk dilakukan analisa lebih lanjut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan Karakteristik Respon Getaran Tanpa Dual Dynamic Vibration Absorber

Dalam sub-subab kali ini dibahas perbandingan yang di peroleh dari RMS getaran sistem hasil simulasi terhadap eksperimen. Adapun RMS getaran sistem yang ditunjukkan adalah ketika sistem tidak diberikan dual *dynamic vibration absorber*. Perbandingan dilakukan pada kedua arah sumbu gerak sistem, yaitu pada arah translasi maupun rotasi. Adapun grafik hasil

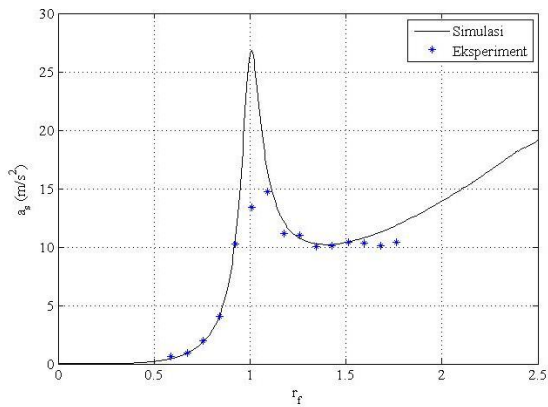
perbandingan tersebut ditunjukkan sebagaimana pada Gambar 2 dibawah ini.

Gambar 2 (a) menunjukkan perbandingan grafik RMS getaran translasi saat sistem tanpa diberikan dual dynamic vibration absorber. Grafik berwarna hitam menunjukkan hasil simulasi, sedangkan titik-titik berwarna biru merupakan grafik hasil pengambilan data secara eksperimental. Secara umum bentuk tren grafik yang diperoleh dari hasil eksperimen ternyata sama dengan tren grafik yang diperoleh dari hasil simulasi. Meski memiliki bentuk tren yang sama antara hasil simulasi dan eksperimen, namun ternyata hasil analisa menunjukkan rata-rata besar penyimpangan data yang cukup besar antara hasil eksperimen dan simulasi. Adapun besar penyimpangan data rata-rata yang diperoleh antara getaran hasil simulasi dan hasil eksperimen adalah sebesar 7,96 %. Besarnya penyimpangan ini dikarenakan adanya sebagian getaran dari sistem utama yang tersalurkan kepada lingkungan disekitar alat uji *dual-DVA*, khususnya dalam ini adalah meja tempat peletakan alat uji *dual-DVA*.

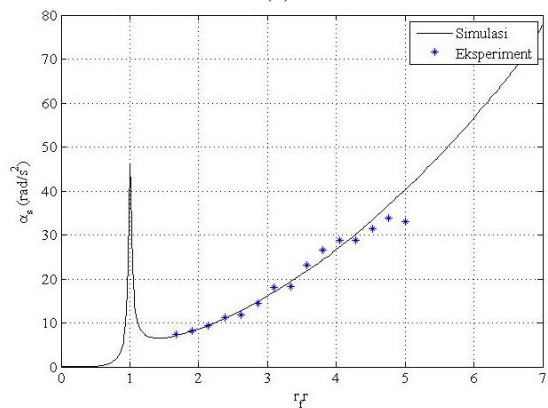
Saat sistem diberikan rasio frekuensi yang rendah kita dapat melihat bahwa besar penyimpangan yang terjadi antara RMS getaran translasi hasil simulasi dan eksperimen sangatlah kecil. Kecilnya penyimpangan ini dikarenakan saat diberikan frekuensi yang rendah, seluruh energi getar masih terfokus pada sistem utama sehingga tidak ada energi getar yang tersalurkan keluar kepada lingkungan. Namun ketika sistem diberikan rasio frekuensi yang mendekati frekuensi natural translasi ($r_f = 1$), terjadi penyimpangan nilai yang sangat besar antara RMS getaran translasi hasil simulasi dan eksperimen. Adapun penyimpangan terbesar yang terjadi adalah sebesar 50,11% sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3 (a).

Gambar 2 (b) menunjukkan perbandingan grafik RMS getaran arah rotasi saat sistem tanpa diberikan dual dynamic vibration absorber. Grafik berwarna hitam menunjukkan hasil simulasi, sedangkan titik-titik berwarna biru merupakan grafik hasil pengambilan data secara eksperimental. Secara umum bentuk tren grafik yang diperoleh dari hasil eksperimen ternyata sama dengan tren grafik yang diperoleh dari hasil simulasi.

Meski memiliki bentuk tren yang sama antara hasil simulasi dan eksperimen, namun ternyata berdasarkan hasil analisa lebih lanjut memperlihatkan adanya error yang terjadi antara data hasil simulasi dan data hasil eksperimen. Adapun prosentase error yang terjadi untuk setiap sampel data ditunjukkan pada Gambar 3 (b). Berdasarkan gambar tersebut menunjukkan besar prosentase error yang terjadi pada sistem tanpa DVA adalah berkisar antara 0,77% hingga 17,78% dan rata-rata error sebesar 5,45 %.



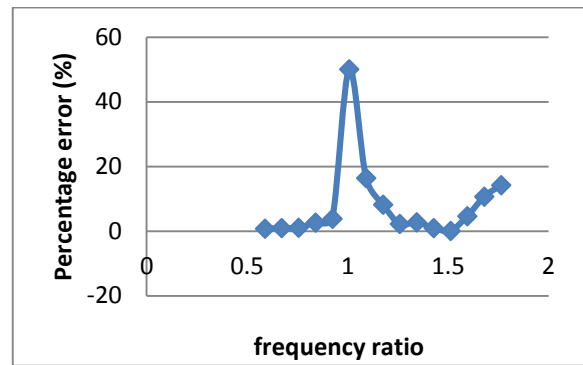
(a)



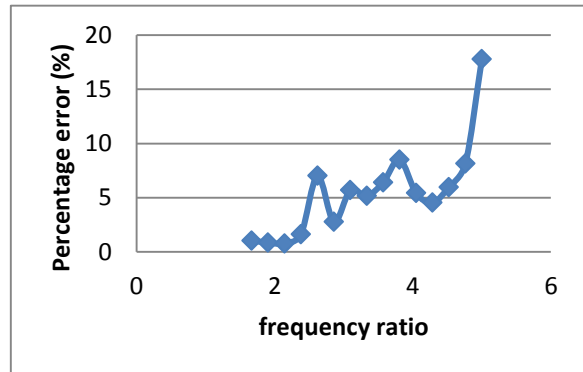
(b)

Gambar 2. Grafik perbandingan RMS getaran sistem dari hasil simulasi dan eksperimen (a) translasi tanpa *dual* DVA dan (b) rotasi tanpa *dual* DVA

Saat sistem diberikan rasio frekuensi yang rendah kita dapat melihat bahwa besar prosentase error sangatlah kecil sebagaimana pada Gambar 3 (b). Kecilnya penyimpangan ini dikarenakan saat diberikan frekuensi yang rendah, seluruh energi getar masih terfokus pada sistem utama sehingga tidak ada energi getar yang tersalurkan keluar kepada lingkungan. Semakin besar rasio frekuensi yang diberikan secara umum nilai prosentase error yang terjadi menjadi semakin besar. Semakin besarnya prosentase error ini dikarenakan adanya getaran yang tersalurkan kepada lingkungan disekitar alat uji, dalam hal ini adalah meja tempat diletakkanya alat uji DVA. Dengan tersalurkannya sebagian energi getaran sistem kepada lingkungan, maka berakibat pada berkurangnya getaran total yang terjadi pada sistem utama. Sehingga besar RMS getaran rotasi hasil eksperimen menjadi jauh lebih kecil dibandingkan RMS getaran rotasi hasil simulasi sebagaimana pada Gambar 2 (b). Dengan demikian terjadilah penyimpangan/ error yang besar antara hasil simulasi dan eksperimen sebagaimana pada gambar 3.2 (b). Adapun error terbesar yang terjadi antara hasil simulasi dan eksperimen dalam kasus ini adalah sebesar 17,78%.



(a)



(b)

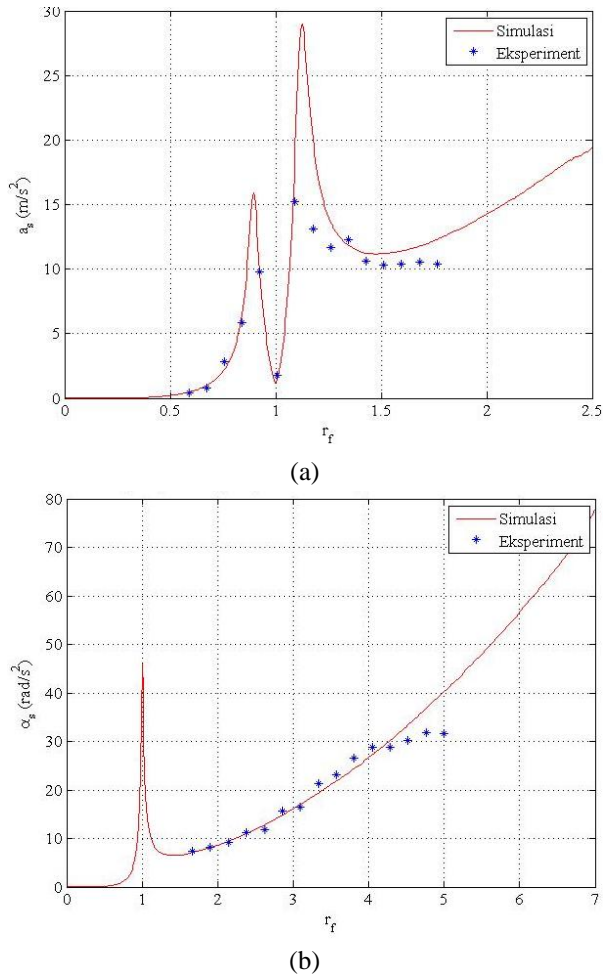
Gambar 3. Grafik prosentase perbedaan antara hasil simulasi dan eksperimen (a) translasi tanpa *dual* DVA dan (b) rotasi tanpa *dual* DVA

Perbandingan Karakteristik Respon Getaran Dengan *Dual Dynamic Vibration Absorber*

Dalam sub-subab kali ini dibahas perbandingan yang di peroleh dari RMS getaran sistem hasil simulasi terhadap eksperimen. Adapun RMS getaran sistem yang ditunjukkan adalah ketika sistem telah diberikan *dual dynamic vibration absorber*. Perbandingan dilakukan pada kedua arah sumbu gerak sistem, yaitu pada arah translasi maupun rotasi. Adapun grafik hasil perbandingan tersebut ditunjukkan sebagaimana pada Gambar 4 dibawah ini.

Gambar 4 (a) menunjukkan perbandingan grafik RMS getaran translasi saat sistem dengan diberikan *dual dynamic vibration absorber*. Grafik berupa garis kontinu menunjukkan hasil simulasi, sedangkan titik-titik berwarna biru merupakan grafik hasil pengambilan data secara eksperimental. Secara umum bentuk tren grafik yang diperoleh dari hasil eksperimen ternyata sama dengan tren grafik yang diperoleh dari hasil simulasi. Meski memiliki bentuk tren yang sama antara hasil simulasi dan eksperimen, namun ternyata hasil analisa menunjukkan rata-rata besar penyimpangan data yang cukup besar antara hasil eksperimen dan simulasi. Adapun besar penyimpangan data rata-rata yang diperoleh antara getaran hasil simulasi dan hasil eksperimen adalah sebesar 13,38 %, dengan nilai error

berkisar antara 3,37% hingga 34,82. Besarnya penyimpangan ini dikarenakan adanya sebagian getaran dari sistem utama yang tersalurkan kepada lingkungan disekitar alat uji *dual-DVA*, khususnya dalam ini adalah meja tempat peletakan alat uji *dual-DVA*.

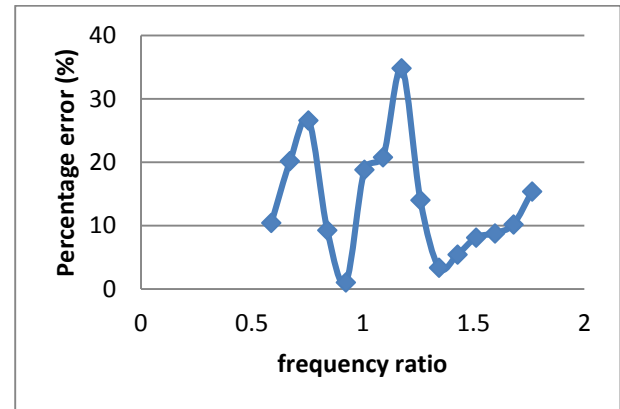


Gambar 4. grafik perbandingan RMS getaran sistem dari hasil simulasi dan eksperimen (a) translasi dengan *dual DVA* dan (b) rotasi dengan *dual DVA*

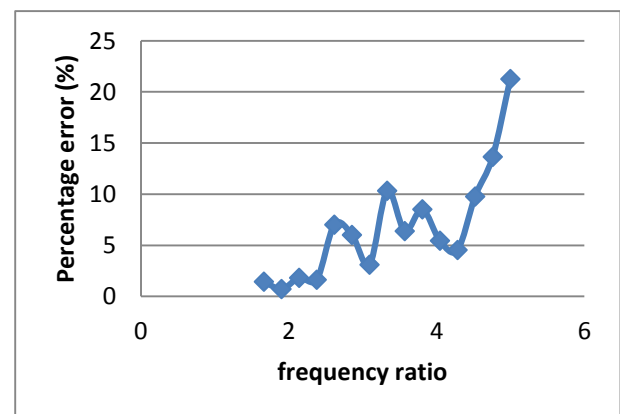
Saat sistem diberikan rasio frekuensi yang rendah kita dapat melihat bahwa besar penyimpangan yang terjadi antara RMS getaran translasi hasil simulasi dan eksperimen sangatlah kecil. Kecilnya penyimpangan ini dikarenakan saat diberikan frekuensi yang rendah, seluruh energi getar masih terfokus pada sistem utama sehingga tidak ada energi getar yang tersalurkan keluar kepada lingkungan.

Pemberian dual translasional *dynamic vibration absorber* pada posisi tengah dari beam berakibat pada bertambahnya jumlah frekuensi natural yang terjadi pada sistem. sistem yang awalnya hanya memiliki satu frekuensi natural berubah menjadi dua kali frekuensi natural. Apabila kita amati kembali pada Gambar 5 (a) diperlihatkan bahwa ketika sistem diberikan frekuensi yang mendekati frekuensi natural berakibat pada

semakin besarnya error yang terjadi. Kondisi ini ada dikarenakan saat frekuensi natural tercapai pada sistem maka energy getaran yang terjadi sangatlah tinggi. Besar energy getaran pada sistem tidaklah tersimpan secara sempurna pada sistem, melainkan tersalurkan kepada lingkungan disekitar dari sistem. sebagai contoh adalah tersalurkan pada meja dimana alat uji DVA tersebut diletakkan. Hal inilah yang berakibat tingginya error saat frekuensi natural. Adapun besar error yang tertinggi berdasarkan data eksperimen yang dilakukan adalah sebesar 34,82%.



(a)



(b)

Gambar 5. grafik prosentase perbedaan antara hasil simulasi dan eksperimen (a) translasi dengan *dual DVA* dan (b) rotasi dengan *dual DVA*

Peningkatan error pada saat tercapainya frekuensi natural sistm mungkin juga akan terjadi pada getaran arah rotasi, namun dalam penelitian ini pengambilan data kebetulan dilaukan di atas frekuensi natural arah rotasi sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4 (b). Dalam gambar tersebut terlihat bahwa secara umum grafik hasil eksperimen memiliki tren yang sama dengan grafik hasil simulasi. Saat frekuensi yang tinggi diperlihatkan bahwa penyimpangan antara hasil simulasi dan eksperimen menjadi semakin jauh, hal ini

dipertegas dari grafik error data sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 5 (b). Adapun besar error terbesar yang terjadi adalah sebesar 21,26%. Besar penyimpangan ini terjadi dikarenakan seluruh energi getaran sistem tidak tersimpan pada masa sistem utama, namun tersalurkan pada lingkungan di sekitar sistem, sehingga berakibat pada berkurangnya getaran hasil eksperimen.

Meski memiliki pengimpangan yang sangat tinggi saat diberikan frekuensi eksitasi yang tinggi, namun secara umum besar penyimpangan rata-rata yang terjadi antara grafik hasil simulasi dan eksperimen masih cukup rendah. Adapun besar penyimpangan antara data hasil simulasi adalah sebesar 6,78% yang menunjukkan bahwa hasil simulasi dapat dikatakan sama dengan grafik hasil eksperimen.

KESIMPULAN

Dari keempat kondisi pada penelitian ini diperoleh nilai rata-rata error yang terjadi antara data hasil simulasi dan eksperimen adalah sebesar 8,5% saja. Hal ini menunjukkan bahwa hasil simulasi yang dilakukan masih dapat dikatakan sama dengan hasil eksperimen (valid). Adanya error yang terjadi antara hasil simulasi dan eksperimen lebih dikarenakan oleh tersalurnya sebagian getaran dari sistem utama kepada lingkungan di sekitar sistem, sehingga mengakibatkan adanya perbedaan hasil antara simulasi dan eksperimen.

REFERENSI

- [1] Galezia, A. "Parameter Determination of *Dynamic vibration absorber* for Application in Household Equipment". *Machine Dynamic Research*. Vol. 40, pp 83-94, 2016
- [2] Frahm, H., "Device for damping vibrations of bodies," U.S. Patent No. 989958, 1909.
- [3] Watts, P., "On a method of reducing the rolling of ship at sea," *Transactions of the Institute of Naval Architects*, Vol. 24, pp. 165–190, 1883.
- [4] Hartog, J. P. den, *Mechanical Vibrations*, McGraw-Hill, 1956
- [5] Salem, M.H., Performance of a *dynamic vibration absorber* using a magneto-rheological damper, (2012) *International Review of Mechanical Engineering (IREME)*, 6 (6), pp. 1146-1156
- [6] Salem, M.H., Control of a *Dynamic vibration absorber* Using a Magneto-Rheological Damper, (2013) *International Review of Mechanical Engineering (IREME)*, 7 (1), pp. 1146-1156
- [7] Megahed, S.M. and AbdEl-Razik, A.K., "Vibration control of two degrees of freedoms system using variable inertia vibration absorbers: Modeling and simulation," *Design and Production Department, Faculty of Engineering, Cairo University, Giza 12613, 2010.*
- [8] Aida Annisa Amin Daman. 2016. The influence of *dynamic vibration absorber* to reduce vibration of main system with 2-DOF. *IECC*.
- [9] Susastro. "Optimasi Posisi dari Masa SDVA untuk Mereduksi Getaran Translasi-Rotasi pada Beam". *ITP Journal*. Pp 39-44.
- [10] Sun.H.L. 2008. Application of *dynamic vibration absorber* in structur vibration control under multi frequency harmonics excitation. *Applied acoustics*. Pp 1361-1367
- [11] Kusumadewyanti. Esthi. 2015. Study pengaruh masa dan perubahan lengan momen dual dynamic vibration absorber (DVA)-Independent terhadap respon getaran sistem utama - 2 DOF. *Seminar nasional teknik mesin petra DS28-DS34*.
- [12] Susastro. "Optimizing vibration reduction in 2 dof system with change position of independent translational dual-dynamic vibration absorber". *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. Pp 882-892.