

## **Optimasi Posisi dari Massa SDVA (1/20 Massa Sistem) untuk Mereduksi Getaran Translasi-Rotasi pada Beam**

### ***Position Optimization of SDVA Mass (1/20 System Mass) to Reduce Translation and Rotation Vibration on Beam***

**Susastro**

*Departement of Mechanical Engineering, Adhi Tama Surabaya Institut of Technology  
Jl. Arif Rahman hakim No. 100, Surabaya, Indonesia*

*Received 13 April 2017; Revised 16 April 2017; Accepted 20 April 2017, Published 27 April 2017  
<http://dx.doi.org/10.21063/JTM.2017.V7.39-45>*

*Academic Editor: Asmara Yanto (asmarayanto@yahoo.com)*

*\*Correspondence should be addressed to [sastro\\_m51@yahoo.com](mailto:sastro_m51@yahoo.com)*

*Copyright © 2017 Susastro. This is an open access article distributed under the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).*

#### **Abstract**

*In many cases, amount of SDVA mass (single dynamic vibration absorber) which is used to dampen vibrations is equal to 1/10 of the mass of the system. Meanwhile, the amount of additional mass is sometimes felt to be too great if the mass system is also great. To resolve this problem, we use mass absorber with a much smaller size. In this research, we did a simulation optimization of the use massa SDVA 1/20 on the beam, to damped translation and rotation vibration from main system. The study began by building a 2 DOF vibration prototype system with the addition of SDVA. Prototype modeled into mathematical equations and simulated to determine the change vibration characteristics. In this simulation we provide changes in the excitation frequency and distance of the center of mass SDVA future main system. From this research indicated that the addition of SDVA capable of reducing vibration direction of translation by 98.53% that occurred at a frequency ratio of 1. Whereas for rotational motion, vibration reduction which occurred amounted to 80.41%. From the results of This research also concluded that translation and rotation vibration reduction are best obtained when the ratio of the arms by  $r_1 = 0,9$  with 75,84 % vibration reduction.*

**Keywords:** *Single dynamic vibration absorber, DVA, vibration*

### **1. PENDAHULUAN**

Semua sistem yang bergerak tentu akan mengalami getaran, dan apabila getaran yang terjadi terlalu berlebih maka diperlukan cara untuk mengurangi getaran yang timbul. Salah satu metode yang biasa digunakan untuk mengurangi getaran sistem adalah dengan mengurangi efek getaran yang terjadi, yang mana hal ini dapat dilakukan dengan jalan memberikan peredam atau dynamic vibration absorber (DVA).

Dynamic vibration absorber pada dasarnya merupakan masa dan peredam tambahan yang diberikan pada sistem utama yang bergetar guna mengurangi getaran sistem utama dengan jalan menciptakan anti resonansi pada daerah

frekuensi natural sistem utama tersebut. Pada mulanya dynamic vibration absorber ini banyak digunakan untuk meredam getaran pada bangunan bertingkat pada daerah yang rawan mengalami gempa [1-2]. Namun prinsip kerja dari dynamic vibration absorber tetap dapat digunakan pada hampir semua kasus getaran pada sistem-sistem mekanis.

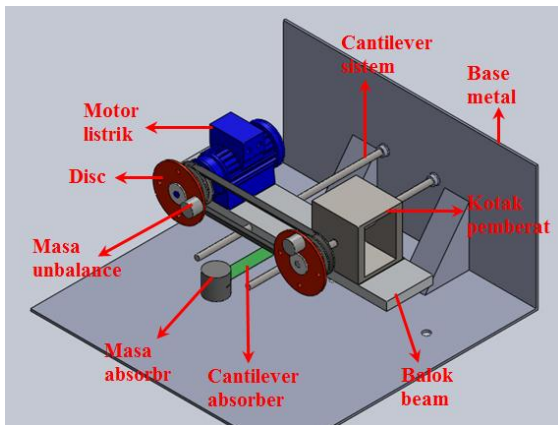
Selain dapat digunakan untuk meredam getaran arah translasi [3], dynamic vibration absorber juga dapat digunakan untuk meredam getaran arah rotasi [4]. Beberapa peneliti bahkan juga telah menggunakan DVA untuk meredam getaran translasi dan rotasi secara bersama-sama sebagaimana [5-8]. Untuk dapat meredam getaran arah translasi dan rotasi maka digunakan lebih dari satu masa tambahan,

namun penggunaan banyak masa DVA dirasa kurang efektif sehingga dilakukan pengurangan jumlah masa tambahan untuk mengurangi getaran translasi dan rotasi secara bersamaan [8]. Hal ini dilakukan dengan jalan memberikan masa absorber sebesar 1/10 dari masa sistem utama, dan kemudian melakukan perubahan posisi masa SDVA terhadap pusat masa sistem utama [8].

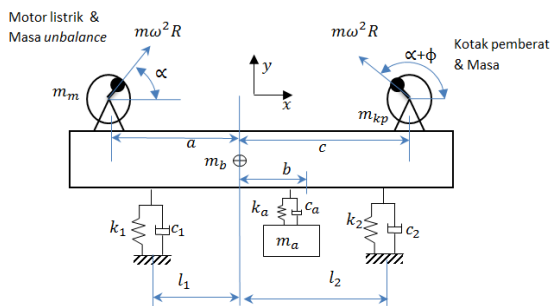
Pemberian masa absorber sebesar 1/10 dari masa sistem utama dirasa akan sangat berat dan besar apabila sistem utama memiliki masa yang sangat besar. Oleh karena hal tersebut dalam penelitian ini diberikan sebuah masa absorber sebesar 1/20 dari total masa sistem utama untuk meredam getaran translasi dan rotasi secara bersama-sama. Sebuah sistem utama berupa balok beam diberikan sebuah motor sebagai sumber gerak yang menggerakkan 2 buah masa unbalance. Untuk menciptakan getaran translasi dan rotasi secara bersamaan maka diberikan perbedaan fasa  $90^\circ$  pada kedua masa unbalance. Pada kedua ujung beam dihubungkan dengan batang cantilever sebagai pengganti dari pegas-peredam. Selain itu dalam penelitian ini juga diberikan variasi lengan momen  $b$  sehingga diperoleh pengurangan getaran translasi dan rotasi yang paling optimum.

## 2. Metodologi

### A. Penurunan Persamaan Gerak



(a)



(b)

**Gambar 1.** Bentuk fisik sistem DVA (a) dan bentuk Penyederhanaan modelnya (b)

### Keterangan:

- $m$  : masa unbalance (kg)
- $m_a$  : masa absorber (kg)
- $m_m$  : masa motor (kg)
- $m_p$  : masa piringan disc (kg)
- $m_{kp}$  : masa kotak pemberat (kg)
- $m_b$  : masa balok *beam* (kg)
- $R$  : jari-jari rotasi dari masa unbalance (m)
- $K_1$  : kekakuan cantilever 1 (N/m)
- $b$  : CG balok *beam* - cantilever *absorber* (m)
- $\omega$  : kecepatan putaran motor (rad/s)
- $K_2$  : kekakuan cantilever 2 (N/m)
- $K_a$  : kekakuan cantilever *absorber* (N/m)
- $C_1$  : redaman cantilever 1 (N.s/m)
- $C_2$  : redaman cantilever 2 (N.s/m)
- $C_a$  : redaman cantilever *absorber* (N.s/m)
- $L_1$  : Cantilever 1 – CG balok *beam* (m)
- $L_2$  : Cantilever 2 – CG balok *beam* (m)
- $a$  : CG balok *beam* - motor listrik (m)
- $c$  : CG balok *beam* - kotak pemberat (m)
- $L$  : Panjang total balok *beam* (0,53 meter)

Gambar 1 (a) diatas merupakan bentuk sistem DVA dengan dua derajat kebebasan yang digunakan dalam penelitian. Dari sistem DVA yang ada kemudian dilakukan penyederhanaan sebagaimana gambar 1 (b) dan dibuat diagram benda bebas untuk menurunkan persamaan gerak sistem berdasarkan hukum Newton. Dalam penelitian didapatkan tiga persamaan gerak yang diperoleh dari sistem utama dan masa absorber, yaitu translasi arah vertikal dari absorber ( $Y_a$ ), translasi arah vertikal dari sistem utama ( $Y_s$ ) dan rotasi dari sistem utama ( $\theta$ ). Dari persamaan gerak yang diperoleh kemudian diturunkan persamaan *state variable* yang kemudian digunakan untuk membangun blok diagram simulasi. Adapun *state variable* yang diperoleh adalah sebagai berikut :

$$\ddot{y}_a = \frac{1}{m_a} [C_a \dot{y}_s - C_a b \dot{\theta} + k_a y_s - k_a b \theta - C_a \dot{y}_a - k_a y_a] \quad (1)$$

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

$$m a \omega^2 R \sin(\alpha) - (C_1 l_1^2 + C_2 l_2^2 + C_a b^2) \dot{\theta} - (k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2 + k_a b^2) \theta \quad (3)$$

Gaya arah horizontal (sumbu X) diasumsikan memiliki pengaruh yang kecil,

sehingga inputan eksitasi yang digunakan dalam simulasi merupakan fungsi sinusoidal sebagaimana berikut:

$$F_1 = m \cdot \omega^2 \cdot R \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (4)$$

Untuk eksitasi yang terjadi pada sisi kotak pemberat memiliki perbedaan fasa  $90^\circ$  terhadap sisi motor. Dengan demikian eksitasi yang terjadi pada kotak pemberat didefinisikan sebagai berikut:

$$F_2 = m\omega^2 R \sin(\alpha + 90) \quad (5)$$

### B. Parameter Simulasi

Nilai parameter yang digunakan dalam simulasi merupakan parameter yang berasal dari sistem DVA dan diperoleh dengan cara mengukur. Untuk inersia dari sistem diperoleh dengan menggunakan softwar. Berikut nilai parameter yang digunakan dalam simulasi:

$m_s$	: 13,88 Kg	$I$	: 0,401 Kg.m <sup>2</sup>
$m_m$	: 5 Kg	$k_1$	: 38.800 N/m
$m_{kp}$	: 5 Kg	$k_2$	: 38.800 N/m
$M$	: 0,14 Kg	$c_1$	: 49,7 N.s/m
$m_b$	: 3,88 Kg	$c_2$	: 49,7 N.s/m
$l_1$	: 0,145 m	$c_a$	: 1,75 N.s/m
$l_2$	: 0,145 m	$a$	: 0,06 meter
$R$	: 0,045 m	$c$	: 0,06 meter
$L$	: 0,530 m		

Untuk besar masa absorber ( $m_a$ ) dalam penelitian ini adalah sebesar  $m_s/20$ . Sedangkan untuk kekakuan absorber juga dilakukan perubahan dengan faktor perkalian yang sama dengan yang digunakan dalam masa absorber, yaitu sebesar  $k_s/20$ .

### C. Simulasi

Dengan menggunakan persamaan state variabel yang telah diturunkan serta nilai parameter yang telah ditetapkan, dilakukanlah simulasi dengan menggunakan software. Simulasi dilakukan dengan maksud untuk mengetahui RMS respon getaran sistem utama baik sebelum dan setelah pemberian masa absorber (SDVA). Begitulah proses ini dilakukan dengan memvariasikan nilai frekuensi dari gaya eksitasi dan lengan momen  $b$  (jarak pusat masa sistem utama terhadap masa absorber).

Adapun variasi frekuensi dilakukan pada range 0 Hz hingga 30 Hz yang merupakan daerah frekuensi rentan kerja dari motor listrik, sementara untuk lengan momen  $b$  divariasikan antara 0 m hingga 0,265 m yang merupakan setengah dari panjang total sistem beam. Untuk

melakukan variasi nilai frekuensi dan lengan momen  $b$ , maka perlu dibangun sebuah program pada *comand editor simulink* terlebih dahulu. Setiap variasi nilai lengan momen  $b$  dan frekuensi motor disimulasikan dengan memberikan tiga nilai masa absorber yang berbeda. Adapun masa absorber yang digunakan adalah sebesar  $m_s/20$ .

Untuk mendapatkan grafik karakteristik sistem maka dalam hasil simulasi yang diperoleh dilakukan beberapa normalisasi. Rasio lengan ( $r_l$ ) merupakan hasil normalisasi antara lengan momen  $b$  terhadap jarak pusat masa beam kepada cantilever ( $l_l$ ). Rasio frekuensi translasi ( $r_f$ ) merupakan hasil normalisasi frekuensi eksitasi terhadap frekuensi natural arah translasi. Sedangkan rasio frekuensi rotasi ( $r_{fr}$ ) merupakan hasil normalisasi antara frekuensi eksitasi terhadap frekuensi arah rotasi sistem.

## 3. Hasil dan Pembahasan

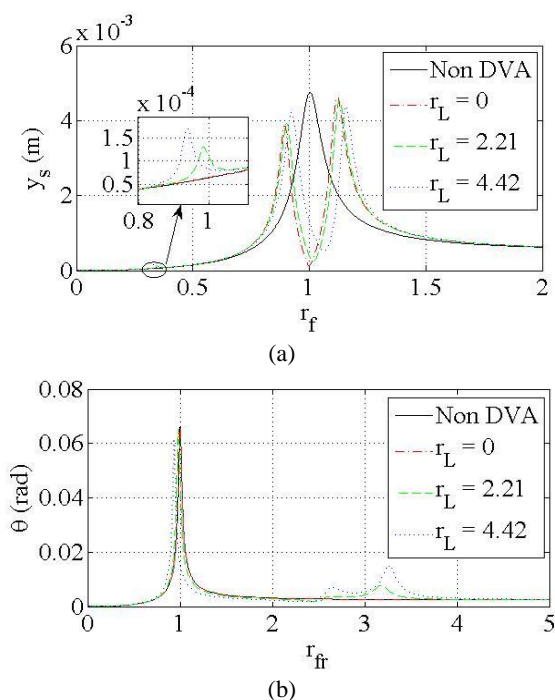
### A. Karakteristik Respon Getaran

Gambar 2 (a) dan (b) merupakan grafik pengaruh nilai rasio lengan momen ( $r_l$ ) terhadap perubahan karakteristik RMS displacement dan RMS angular displacement untuk  $m_a = 1/20m_s$ . Grafik yang berwarna hitam merupakan grafik RMS displacement untuk sistem tanpa DVA. Sedangkan grafik yang berwarna berwarna merah, hijau dan biru masing-masing merupakan grafik untuk  $r_l = 0$ ,  $r_l = 2,221$  dan  $r_l = 4,42$ .

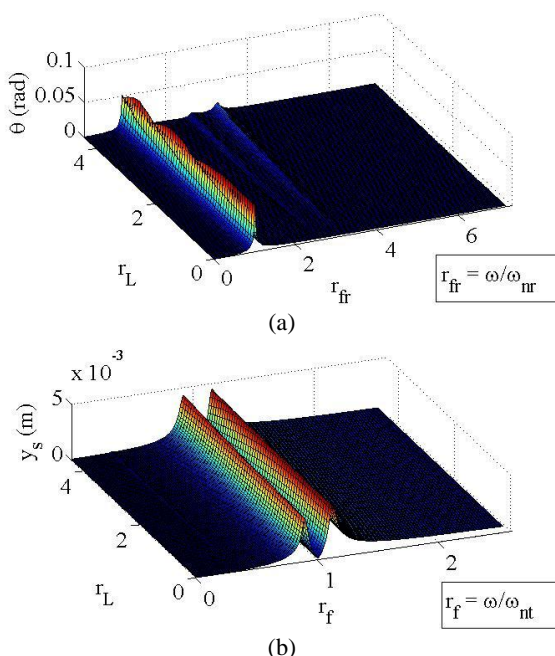
Secara garis besar, dari grafik hasil simulasi yang ditampilkan pada gambar 2 (a) dan (b) terdapat beberapa perbedaan antara grafik yang diperoleh ketika sistem tidak diberikan masa tambahan, sistem diberikan masa tambahan pada posisi pusat masanya dan sistem diberikan masa tambahan tidak pada pusat masanya. Beberapa perbedaan itu diantaranya ialah jumlah frekuensi natural teredam ( $\omega_d$ ) yang nampak pada grafik, jarak antar frekuensi natural teredam, besarnya respon getaran pada saat  $\omega_d$  terjadi, dan range frekuensi dimana terjadi penurunan respon getaran.

Pada sebuah sistem yang memiliki dua buah derajat kebebasan, maka harusnya juga memiliki dua buah frekuensi natural. Namun pada gambar 2 (a) dan (b) menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa DVA maka sistem hanya memiliki sebuah frekuensi natural untuk gerak translasi maupun rotasi. Kondisi ini dikarenakan sistem yang dimodelkan merupakan sistem yang tidak memiliki keterkaitan (tak terkopel) antara gerak translasi

dan rotasi. Sehingga getaran arah translasi tidak mempengaruhi getaran arah rotasi, begitu juga sebaliknya sehingga hanya diperoleh sebuah frekuensi natural teredam pada masing- masing grafik.



Gambar 2. Perubahan karakteristik dengan perubahan  $r_l$  untuk gerak (a) Translasi (b) Rotasi



Gambar 3. Grafik Surface perubahan karakteristik dengan perubahan  $r_l$  untuk gerak (a) Translasi (b) Rotasi

Pemberian masa absorber pada  $r_l = 0$  ditunjukkan sebagaimana pada grafik berwarna merah. Pada kondisi ini jumlah derajat kebebasan sistem mulai bertambah, sehingga jumlah resonansi yang dialami sistem ( $\omega_d$ ) utama juga ikut bertambah. Pada kondisi ini

terlihat bahwa sistem masih tidak memiliki keterkaitan (tidak terkopel) antara gerak translasi dan rotasi, sehingga berakibat pada berbedanya jumlah frekuensi natural teredam yang terjadi pada gerak translasi maupun rotasi. Meski sistem masih merupakan sistem yang tidak terkopel, namun getaran arah translasi dari sistem utama justru terkopel dengan getaran translasi darimasa absorber. Adapun resonansi yang terjadi pada gerak translasi adalah terjadi pada  $r_f = 0,8907$  dan  $r_f = 1,118$ .

Untuk sistem utama dengan masa absorber yang tidak lagi diletakan pada pusat berat sistem utama maka sistem menjadi terkopel secara statis. Terkopelnya sistem secara statis berakibat pada jumlah resonansi yang diperoleh pada gerak translasi sama dengan jumlah resonansi pada arah rotasi. Selain daripada itu resonansi dari kedua jenis gerak ini juga terjadi pada nilai frekuensi yang hampir sama. Resonansi pada gerak translasi dengan nilai  $r_l = 2,21$  terjadi pada  $r_f = 0,3479$ ,  $r_f = 0,9033$  dan  $r_f = 1,129$ . Sedangkan untuk  $r_l = 4,42$  terjadi pada  $r_f = 0,3319$ ,  $r_f = 0,9243$  dan  $r_f = 1,157$ . Resonansi pada gerak rotasi dengan nilai  $r_l = 2,21$  terjadi pada  $r_{fr} = 0,9874$ ;  $r_{fr} = 2,6381$  dan  $r_{fr} = 3,185$ , sedangkan untuk  $r_l = 4,42$  terjadi pada  $r_{fr} = 0,938$ ;  $r_{fr} = 2,65$  dan  $r_{fr} = 3,267$ .

Dari grafik hasil simulasi juga ditunjukkan bahwa semakin besar rasio lengan momen ( $r_l$ ) yang diberikan maka resonansi pertama akan berada pada frekuensi yang lebih rendah. Sedangkan untuk resonansi kedua dan ketiga justru akan berada pada rasio frekuensi yang tinggi ketika rasio lengan momen yang diberikan semakin besar. Dengan demikian jarak antara resonansi kedua dan pertama akan menjadi semakin lebar seiring dengan bertambahnya rasio lengan yang diberikan. Hal ini berlaku baik untuk respon displacement maupun angular displacement.

Apabila dibandingkan dari keempat grafik baik pada gambar 2 (a) dan (b), adanya perubahan rasio lengan momen ( $r_l$ ) selain merubah letak dan jumlah dari resonansi yang terjadi juga dapat merubah besarnya RMS respon yang terjadi saat resonansi tersebut. Pada gambar 4.14 terlihat bahwa semakin besar nilai  $r_l$  yang diberikan maka nilai RMS displacement yang terjadi untuk resonansi pertama dan kedua menjadi semakin tinggi, sedangkan RMS displacement untuk resonansi ketiga menjadi berkurang. Adapun nilai RMS displacement dari resonansi pertama untuk nilai  $r_l = 2,21$  dan  $r_l = 4,42$  masing- masing adalah  $0,0001303$  m dan  $0,0001698$  m. Untuk frekuensi natural kedua nilai RMS displacement

untuk  $r_l = 2,21$  dan  $r_l = 4,42$  masing-masing adalah 0,003933 m dan 0,004202 m. Sedangkan untuk frekuensi natural ketiga, perubahan nilai  $r_l$  dari 2,21 menjadi 4,42 merubah nilai RMS displacement dari 0,004541 m menjadi 0,004374 m. Adapun gambar grafik surface dari RMS displacement untuk  $m_a=m_s/20$  dengan perubahan dari  $r_l$  dan  $r_f$  ditunjukkan sebagaimana dalam gambar 3 (a).

Sebagaimana grafik simulasi dalam gambar 2 (b), RMS *angular displacement* pada resonansi kedua dan ketiga menjadi semakin tinggi ketika sistem diberikan masa absorber dengan  $r_l$  yang semakin besar. Hal yang sedikit berbeda terjadi pada resonansi pertama, yang mana pada rasio frekuensi ini RMS *angular displacement* menjadi mengecil ketika masa absorber diletakan pada ujung dari sistem. Adapun nilai RMS *angular displacement* dari resonansi pertama untuk nilai  $r_l = 2,21$  dan  $r_l = 4,42$  masing- masing adalah 0,06504 rad dan 0,06167 rad. Untuk resonansi kedua nilai RMS *angular displacement* untuk  $r_l = 2,21$  dan  $r_l = 4,42$  masing-masing adalah 0,003682 rad dan 0,007013 rad. Sedangkan untuk resonansi ketiga, perubahan nilai  $r_l$  dari 0,5 menjadi 1 merubah nilai RMS *angular displacement* dari 0,007777 rad menjadi 0,015 rad. Adapun gambar grafik surface dari RMS *angular displacement* untuk  $m_a=m_s/10$  dengan perubahan dari  $r_l$  dan  $r_f$  ditunjukkan sebagaimana dalam gambar 3(b).

Definisi dasar dari DVA adalah sebuah masa yang digunakan untuk meredam getaran pada frekuensi tertentu. Dari definisi tersebut maka hal yang tidak kalah penting dari hasil simulasi ini adalah untuk mengetahui daerah frekuensi dimana terjadi reduksi getaran, baik arah translasi maupun rotasi. reduksi getaran ini biasanya terjadi karena adanya interferensi antar dua buah getaran yang saling berkebalikan (destructive interference) sehingga terbentuk sebuah daerah antiresonansi.

Dari hasil simulasi yang dilakukan diperlihatkan bahwa pemberian DVA mampu menimbulkan antiresonansi pada daerah rasio frekuensi tertentu, dimana pada rasio frekuensi tersebut malah menimbulkan resonansi yang tinggi untuk sistem tanpa DVA. Saat masa absorber diletakan pada bagian tengah beam, nilai terendah dari antiresonansi ini terletak saat  $r_f = 1$ . Ketika masa absorber diletakan pada posisi yang semakin jauh dari pusat masa sistem utama, ternyata letak dari antiresonansi ini akan bergeser ke kanan dengan nilai RMS *displacement* yang juga semakin tinggi pula. Kondisi ini mengakibatkan apabila diinginkan

hanya meredam getaran translasi suatu sistem yang memiliki daerah operasi pada  $r_f = 1$  akan lebih baik ketika menggunakan DVA yang diletakan tepat pada pusat masa dari sistem.

## B. Karakteristik Respon Getaran

Gambar 4 (a) memperlihatkan prosentase pengurangan RMS *displacement* yang terjadi pada rasio frekuensi 1 dengan perubahan lengan momen yang diberikan pada masa absorber. Rasio frekuensi 1 merupakan daerah dimana frekuensi natural dari sistem secara keseluruhan terjadi. Dari grafik yang ada ditunjukkan bahwa pengurangan getaran akan menjadi semakin tinggi dengan semakin kecilnya nilai rasio lengan yang diberikan. Hal ini mengartikan bahwa pengurangan getaran arah translasi akan menjadi semakin baik apabila masa absorber diletakan mendekati pusat masa dari sistem utama. Adapun pengurangan RMS *displacement* yang terbaik terjadi saat  $r_l = 0,009$  dengan nilai prosentase pengurangan getaran sebesar 98,53%.

Tren grafik yang berbeda dari justru ditunjukkan pada grafik prosentase pengurangan RMS *angular displacement* sebagaimana pada gambar 4 (b). Pada kondisi ini ditunjukkan bahwa semakin besar lengan momen yang diberikan pada masa absorber, maka pengurangan nilai RMS *angular displacement* juga menjadi semakin besar. Hal ini dapat diartikan bahwa pengurangan getaran arah rotasi menjadi semakin besar apabila masa absorber diletakan pada bagian paling ujung dari sistem utama. Adpaun hasil pengurangan RMS *angular displacement* yang terjadi pada penelitian ini adalah sebesar 80,41%.

Penurunan getaran pada gerak arah translasi lebih dikarenakan oleh karena timbulnya interferensi destruktif antara getaran pada masa sistem utama dan pada masa absorber. Interferensi jenis ini terjadi karena masa absorber dan masa sistem utama memiliki frekuensi natural yang sama, namun dengan fasa getar yang mendekati  $180^\circ$ . Keadaan ini juga yang mengakibatkan adanya daerah antiresonansi pada  $r_f = 1$ , yang mana pada frekuensi ini fasa dari kedua masa tadi adalah sebesar  $180^\circ$ . Dengan perbedaan fasa sebesar  $180^\circ$ , maka getaran dari masa absorbe dan masa sistem utama akan menjadi saling menghilangkan.

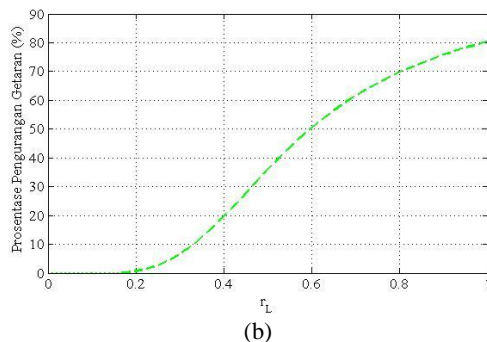
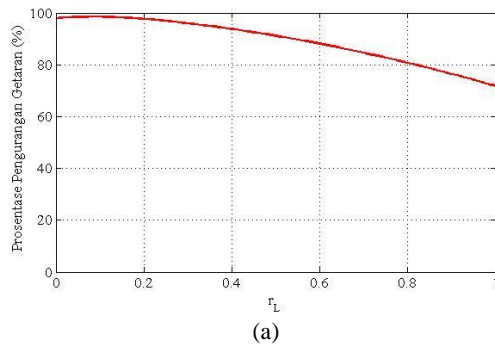
Untuk gerak arah rotasi, Penurunan getaran (RMS *angular displacement*) lebih dikarenakan oleh adanya pergeseran letak resonansi dan perubahan nilai RMS *angular displacement*. Perubahan nilai dari kedua hal ini dikarenakan



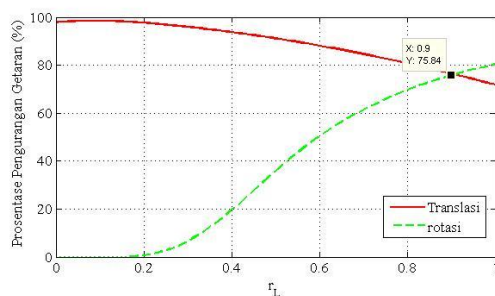
oleh perubahan nilai lengan momen ( $b$ ) pada masa absorber.

### C. Optimasi Pengurangan Getaran

Dari pembahasan sebelumnya menunjukkan bahwa perubahan nilai rasio lengan momen yang diberikan pada masa absorber justru akan menghasilkan karakteristik penurunan prosentase getaran yang berbeda antara gerak translasi dan rotasi. Untuk menyelesaikan masalah ini maka dilakukan optimasi dengan jalan memotongkan kedua grafik yang ada pada gambar 4. Adapun hasil pemotongan dari grafik pada gambar 4 (a) dan 4 (b) diperlihatkan sebagaimana pada gambar 5. Dari gambar 5 ditunjukkan bahwa pengurangan getaran yang paling optimal terjadi pada pemberian rasio lengan  $r_l = 0,9$ . Pada rasio lengan ini pengurangan getaran baik pada arah translasi maupun rotasi adalah sama besar, yaitu sebesar 75,84 %.



Gambar 4. Grafik pengurangan getaran translasi (a) rotasi (b)



Gambar 5. Optimasi pengurangan getaran translasi-rotasi

## 4. Simpulan

Berdasar hasil simulasi yang dilakukan menunjukkan bahwa pemberian masa SDVA sebesar 1/20 dari masa sistem utama ternyata cukup mampu untuk meredam getaran translasi maupun rotasi secara bersama-sama. Adapun besar pengurangan getaran optimal yang mampu dihasilkan adalah sebesar 75,84 % yang terjadi pada saat pemberian rasio lengan sebesar 0,9.

## Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada Staf Jurusan Teknik Mesin Adhi Tama Surabaya Institut of Technology yang telah memberikan kontribusi sehingga artikel dapat diselesaikan.

## Referensi

- [1] K. Yoshida, *active vibration control for builder subjected to horizontal and vertical large seismic excitation.* IEEE Conference on Decision and Control, 1995.
- [2] X. Tang, *“Regenerative semi-active control of tall building vibration with semi TMDs.”* IEEE Control conference, 2010.
- [3] F. S. Samani, *“Vibration reduction of beam under successive traveling loads by mean of linear and nonlinear absorber.”* Science Direct *Journal Sound and Vibration*. pp. 2273-2290, 2010.
- [4] S. Krenk, *“tuned mass absorber on a flexible structure.”* Science Direct *Journal Sound and Vibration*, pp 1577-1595, 2013.
- [5] W.O. Wong, 2007, *“design of a dynamic vibration absorber for vibration isolation of beam under point of distribution.* Science direct journal of sound and vibration 898-908.
- [6] L. Weldemar, *“Optimum Tuning of the Tunable Translational-Rotational Dynamic Absorber in Global Vibration Control Problem in Beam.”* Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, pp 107-118, 2014.
- [7] M. Najafi, *“Optimization design of beam vibration absorber under point harmonic excitation.”* IEEE proceeding, 2009.
- [8] A. A. Daman, *“The influence of dynamic vibration absorber to reduce vibration of main system with 2-DOF.”* IECC, 2016.