

Pengaruh Perubahan Posisi Sumber Eksitasi dan Massa DVA dari Titik Berat Massa *Beam* Terhadap Karakteristik Getaran Translasi dan Rotasi

Abdul Rohman^{1,*}, Harus Laksana Guntur²

1 Program Pascasarjana Bidang Desain, Jurusan Teknik Mesin, FTI, ITS

2 Lab. Vibrasi dan Sistem Dinamis, Jurusan Teknik Mesin, FTI, ITS

* E-mail : rahman1070@gmail.com,

Abstrak. Getaran yang berlebih tidak diinginkan dalam suatu sistem karena akan menimbulkan potensi kerusakan. Pengurangan getaran berlebih dalam frekuensi tunggal dapat dilakukan dengan penambahan DVA. Penelitian ini terkait SDVA untuk mereduksi getaran translasi-rotasi terhadap perubahan posisi eksitasi dan rasio lengan momen sehingga dapat diketahui pengaruh perubahan terhadap karakteristik respon getaran translasi-rotasi. Penelitian ini mengembangkan *prototype* dengan sistem getaran 2 DOF translasi-rotasi dan dengan DVA menjadi 3 DOF. *Prototype* dimodelkan secara persamaan matematis dan dilakukan simulasi *software* untuk mengetahui respon getaran perubahan karakteristik getaran yang terjadi. Dalam simulasi diberikan variasi perubahan jarak posisi eksitasi SDVA terhadap dari titik pusat massa, perubahan jarak lengan momen, frekuensi eksitasi dan massa absorber 1/10 dari massa sistem. Hasil simulasi bahwa besaran reduksi getaran lebih baik pada setiap perubahan posisi sumber eksitasi 0,12 m redaman pada gerak translasi $r_l = -1$: 0,0001132 m, $r_l = -0,5$: 0,0001168 m, $r_l = 0,5$: 0,0000950 m, $r_l = 1$: 0,0001312 m. Pada jarak posisi eksitasi 0,18 m arah getaran rotasi nilai puncak pada $r_l = -1$: 0,009243 rad, $r_l = -0,5$: 0,01075 rad, $r_l = 0,5$: 0,01246 rad, $r_l = 1$: 0,01238 rad. Dengan ini bahwa semakin kecil rasio momen lengan yang diberikan maka pengurangan getaran translasi semakin baik dan sebaliknya pengurangan arah rotasi semakin berkurang yang terjadi pada *angular displacement*.

Kata Kunci: DOF, Eksitasi, Getaran Translasi dan Rotasi, SDVA

1. Pendahuluan

Getaran yang berlebihan pada sistem struktur dapat menimbulkan masalah atau kerusakan. Getaran tersebut perlu diredam agar tidak mengganggu fungsi kerja dari struktur. Permasalahan mengenai peredaman getaran yang tidak diinginkan ini telah banyak diteliti sebelumnya dari beberapa penelitian sehingga beberapa konsep diciptakan untuk mengurangi getaran tersebut. Konsep *Dynamic Vibration Absorber* / DVA salah satu yang digunakan untuk meredam respon getaran translasi. DVA merupakan sistem massa tambahan yang dikenakan pada sistem yang bergetar dan didukung oleh pegas-peredam. Namun DVA juga dapat digunakan untuk meredam getaran translasi dan rotasi secara bersamaan [1].

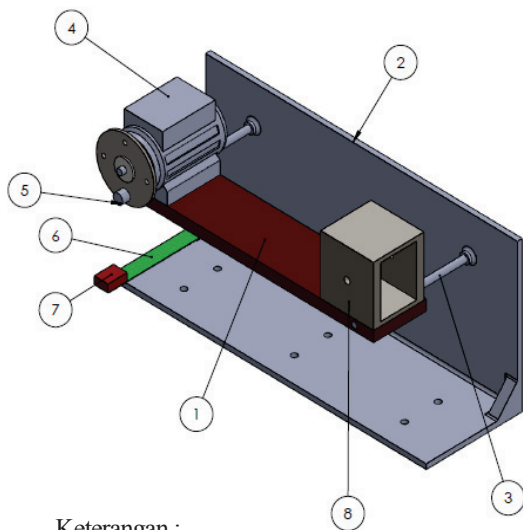
Pada penelitian sebelumnya [2] ,[3] dengan memodifikasi DVA dengan penggunaan *Dual DVA-Independent* pada sistem utama. Dimana perubahan lengan momen tidak berpengaruh pada getaran arah translasi. Adapun konsep DVA dengan yang dilakukan [4] memodifikasi *Dual Dynamic Vibration Absorber* /DDVA tersusun secara seri pada sistem utama massa absorber 1 dalam mereduksi getaran massa utama berkurang karena adanya massa absorber 2 yang mengurangi kemampuan getaran pada massa absorber 2.

Salah satu penggunaan DVA dapat diterapkan pada gedung bertingkat [5] terhadap getaran gempa bumi dan getaran juga terjadi pada beam, jembatan atau jalan layang. Atas kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk memahami getaran karakteristik untuk merancang sebuah konsep getaran absorber secara dinamis. DVA juga mempunyai istilah lain *Tuned Mass Damper* /TMD [6] yang secara luas digunakan kontrol getaran secara *Passive*.

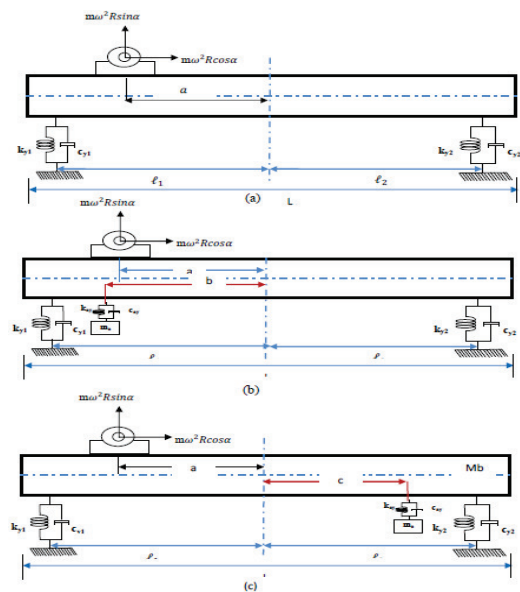
2. Metode

Pemodelan Dinamis Sistem DVA

Penelitian ini diawali dengan menentukan pemodelan dinamis sistem dimana persamaan gerak dari sistem diketahui. Program matlab di pakai untuk membangun blok simulink yang akan didapatkan respon getaran. Adapun sistem utama dalam bentuk *prototype* sebagaimana pada gambar berikut



Keterangan :
Beam, (2) Base Metal, (3) Kantilever Sistem
Motor, (5) Massa Unbalance, (6) Kantilever
Absorber, (7) Massa Absorber, (8) Massa Balance



Gambar 1 Prototype Mesin Uji DVA dan Pemodelan Sistem Dinamis (a) Non-DVA (b) Dengan DVA dekat eksitasi (c) Dengan DVA jauh eksitasi.

Prinsip kerja pada *prototype* ini berupa sistem massa dan pegas yang ingin di redam atau reduksi getarannya. Pada gambar 1 memperlihatkan sebuah massa sistem utama dimana kedua ujung di topang oleh dua kantilever. Dimana kantilever ini sebagai pengganti pegas yang diberikan pada sistem. Sistem utama yang akan diredam getarannya adalah sebuah kesatuan dari beban dinamis sistem seperti massa beam, massa motor, massa *balance* dan sebuah *disk plat*. Sistem diberikan gaya eksitasi dengan menambahkan massa *unbalance* yang dikaitkan pada *disk plate* yang kemudian diputar oleh motor listrik. Pada kasus ini posisi pusat massa berada pada titik tengah pada *beam* dimana posisi motor berada berseberangan dengan massa *balance* dengan jarak yang sama. Dengan demikian pada tujuan penelitian ini bahwa motor sebagai penggerak eksitasi pada massa yang seimbang sehingga akan didapatkan respon yang akan berbeda jika setiap titik peredaman berbeda. DVA sebagai massa yang dengan peredaman variable dinamis. Penempatan DVA ini dibagi menjadi 5 titik yakni pada titik CG (*center of gravity*), setengah dari panjang terhadap CG dan ujung pangkal beam. Sebaliknya penempatan DVA pada sisi yang lain. Jarak DVA merupakan dari rasio lengan dengan jarak kantilever terhadap titik CG.

Pemodelan dinamis pada gambar diatas dengan mengacu Hukum Newton dapat menjabarkan suatu persamaan dinamis tersebut. Dalam bentuk persamaan pemodelan terdapat derajat kebebasan pada sistem (*Degree of Freedom /DOF*) pada sistem tersebut dengan tanpa DVA terlihat 2 DOF namun dengan penambahan DVA maka bertambah jumlah derajat kebebasan menjadi 3 DOF. Dalam penerapan rumus yang diberikan dimana ada 3 persamaan gerak diperoleh dari massa utama, massa absorber dan Inersia. Gerakan yang dihasilkan pada sistem ini yaitu Translasi sistem utama (y_s), rotasi sistem utama (θ) dan translasi massa absorber (y_a)

Dari persamaan gerak yang diperoleh maka dapat dijadikan bentuk *state variable* terlebih dahulu sebelum dibangun pada blok diagram simulink Matlab. Dimana persamaan tersebut adalah sebagai berikut :

- Persamaan gerak arah Translasi pada sistem dengan bentuk *state variable* :

$$\ddot{y}_b = \frac{1}{M_b} [-(c_1 + c_2 + c_{ay})\dot{y}_b - (c_1\ell_1 - c_2\ell_2 - c_{ay}b)\dot{\theta} - (k_1 + k_2 + k_{ay})y_b - (k_1\ell_1 - k_2\ell_2 - k_{ay}b)\theta + c_{ay}\dot{y}_a + k_{ay}y_a + m\omega^2 R \sin a] \quad (1)$$

- Persamaan gerak arah Rotasi pada sistem dengan bentuk *state variable* :

$$\ddot{\theta} = \frac{1}{I} [-(c_1\ell_1^2 + c_2\ell_2^2 + c_{ay}b^2)\dot{\theta} - (k_1\ell_1^2 + k_2\ell_2^2 + k_{ay}b^2)\theta + (-c_1\ell_1 + c_2\ell_2 + c_{ay}b)\dot{y}_b + (-k_1\ell_1 + k_2\ell_2 + k_{ay}b)y_b - c_{ay}b\dot{y}_a - k_{ay}by_a + m\omega^2 R \sin a] \quad (2)$$

- Persamaan gerak arah Translasi pada sistem dengan DVA dengan bentuk *state variable* :

$$\ddot{y}_a = \frac{1}{M_a} [-c_{ay}\dot{y}_a - k_{ay}y_a + k_{ay}y_b - k_{ay}b\dot{\theta} + c_{ay}\dot{y}_b - c_{ay}b\dot{\theta}] \quad (3)$$

Dengan mengasumsikan bahwa eksitasi yang timbul tidak mempengaruhi gaya arah x, sehingga dalam eksitasi yang digunakan dalam simulasi merupakan fungsi sinusoidal. Dimana gaya input yang diberikan pada motor :

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

Pengukuran Parameter Sistem

Parameter ini merupakan nilai yang mewakili suatu bagian dari prototype DVA yang diukur dengan alat uji disertai dengan perhitungan rumus. Dengan parameter ini sebagai salah satu input dalam simulasi simulink matlab. Parameter ini meliputi : massa, kekakuan, redaman, panjang, dan momen inersia. Adapun nilai parameter yang telah diperoleh dari hasil pengukuran penulis adalah sebagai berikut : ⁽¹⁾m_s: 13.88 kg ⁽²⁾k₂: 44 802 N/m ⁽³⁾a : 0.12 , 0.145 dan 0.18 m (variasi jarak eksitasi) ⁽⁴⁾m_m: 5 kg ⁽⁵⁾k₁: 44 802 N/m ⁽⁶⁾l₁: 0.23 m ⁽⁷⁾m_{ub}: 5 kg ⁽⁸⁾c₁ : 52.5 N.s/m ⁽⁹⁾l₂ : 0.23 m ⁽¹⁰⁾m_b : 3.88 kg ⁽¹¹⁾c₁ : 52.5 N.s/m ⁽¹²⁾r : 0.045 m ⁽¹³⁾m_d : 0.14 kg ⁽¹⁴⁾I : 0.2977 kg.m² ⁽¹⁵⁾L : 0.52 m.

Adapun untuk mengukur konstanta kekakuan dapat mengaplikasikan rumus fisika dengan memberikan beban pada ujung kantilever pada sistem sehingga kantilever terdefleksi atau lendutan. pemberian beban ini dilakukan berulang dengan massa beban yang berbeda. adapun rumus mendapatkan kekakuan ini sebagaimana dalam persamaan (5) dibawah ini.

$$k_1 = k_2 = F \cdot \Delta x \dots\dots\dots(5)$$

Untuk nilai konstanta redaman pengukurannya diperlukan alat uji khusus yakni oscilloscope, accelerometer dan power supply. Dalam tahap pengukuran redaman dengan pemasangan accelerometer pada kantilever, dimana diberikan gaya eksitasi atau simpangan awal sebesar x₀ dan dibiarkan bergetar hingga tidak bergetar lagi. Getaran yang timbul dengan pemberian simpangan di rekam pada display oscilloscope. Data getaran yang disimpan pada oscilloscope masih berupa data voltasi sehingga diperlu konversi. Adapun pengukuran redaman kantilever ini menggunakan metode *logaritmik decrement* dengan persamaan sebagai berikut :

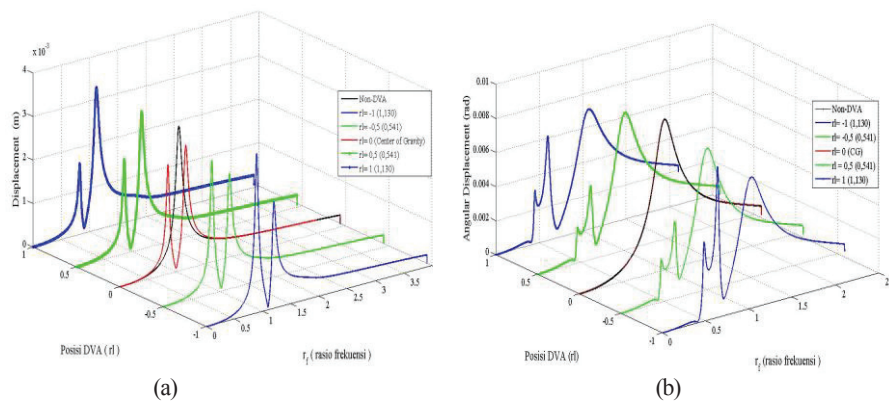
$$c = 2 \cdot m \cdot \sqrt{(k/m)} \cdot \sqrt{(1/((2 \cdot \pi / \ln(a_n / a_{n+1}))^2 + 1))} \dots\dots\dots(6)$$

Di mana a_n adalah besar amplitudo getaran ke-n, a_{n+1} besar amplitudo getaran ke-(n+1). Nilai redaman dari kantilever *absorber* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan *logaritmik decreement* dengan langkah yang sama perbedaan penempatan accelerometer pada kantilever absorber.

3. Pembahasan

Dengan adanya persamaan gerak yang telah diketahui dimana sebagai bagian dari penyusunan blok diagram pada software simulink khususnya pada bentuk persamaan *state variable*. Dalam penyusunan dalam blok diagram ini memudahkan dalam pengambilan respon atau sinyal yang dihasilkan dalam persamaan tersebut. Dalam simulasi ini dirancang untuk mengetahui RMS respon getaran dari sistem dimana sistem ini terdiri dari Non-DVA dan dengan DVA.

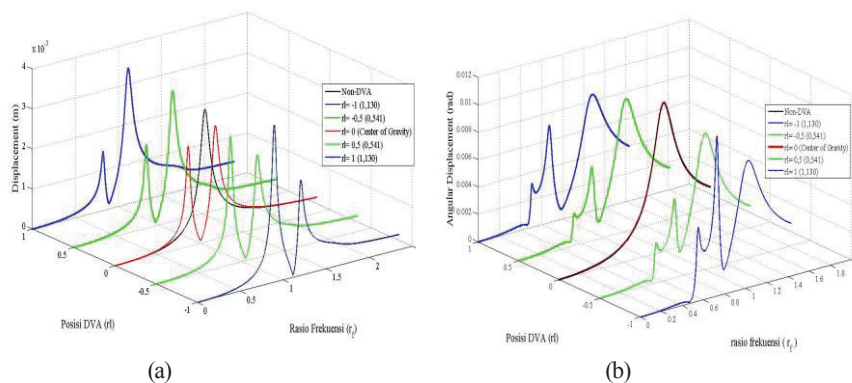
Proses RMS ini juga dengan melakukan variasi nilai eksitasi, panjang lengan DVA dan panjang lengan sumber eksitasi dari titik pusat massa sistem. Variasi frekuensi yang diberikan pada penelitian ini sebesar range 0 Hz s/d 30 Hz dimana menyesuaikan kemampuan kerja dari frekuensi maksimum motor listrik yang dipakai peneliti. Untuk variasi lengan momen DVA (c) dimulai di titik pusat massa yang asumsikan titik nol sampai 0,26 m ujung dari sisi beam dan sebalik juga variasi lengan momen (b) dari titik nol pusat massa sampai 0,26 m ujung dari sisi beam. Untuk massa dan kekakuan massa dan kekakuan absorber berdasarkan rasio massa dan kekakuan menggunakan rasio 1/10 dari massa dan kekakuan sistem. Dalam grafik karakteristik yang dihasilkan dilakukan normalisasi. Dimana rasio lengan (rl), merupakan hasil normalisasi antara lengan (b) terhadap jarak pusat massa beam terhadap kantilever (l₁). Begitu juga dengan rasio frekuensi translasi (r_f) dan roati (r_{fi}) adalah normaliasi frekuensi natural arah translasi dan arah rotasi.



Gambar 2 Perbandingan Grafik RMS Karakteristik Respon (a) Getaran Translasi dan (b) Getaran Rotasi dengan Pengaruh perubahan posisi jarak sumber eksitasi 0,12 m

Penambahan DVA pada sistem utama tentunya menambah jumlah derajat kebebasan dan juga resonansinya. Pada gambar (2) grafik tersebut menggambarkan perbedaan seperti jumlah frekuensi natural, jarak antara resonansi, besaran nilai pada getaran maksimum, dan besaran antara terjadinya penurunan respon getaran. Tidak terkopelnya antara gerak translasi dan rotasi dari sistem utama ini terlihat dengan lengan momen nol sehingga pada matrik *eigen value* di ketahui perkalian nilai $k_a b$ menjadi nol. Sehingga bahwa gerak translasi tidak dipengaruhi oleh gerak rotasi hanya dipengaruhi oleh massa absorber berlaku juga pada resonansi *angular displacement*. Hal ini terdapat pada antiresonansi pada arah translasi gambar (a) pada titik nol (CG) tepat rasio frekuensi 1 dengan besar redaman maksimum 0,00007649 m. Pada gambar 2 bahwa pengurangan redaman untuk lengan momen DVA berhubungan langsung dengan redaman yang dihasilkan pada (a) gerak translasi $r_l = -1 : 0,0001132$ m, $r_l = -0,5 : 0,0001168$ m, $r_l = 0,5 : 0,0000950$ m dan $r_l = 1 : 0,0001312$ m. Begitu juga dengan (b) arah getaran rotasi dengan nilai puncak pada $r_l = -1 : 0,007692$ rad, $r_l = -0,5 : 0,008272$ rad, $r_l = 0,5 : 0,008056$ rad dan $r_l = 1 : 0,007024$ rad

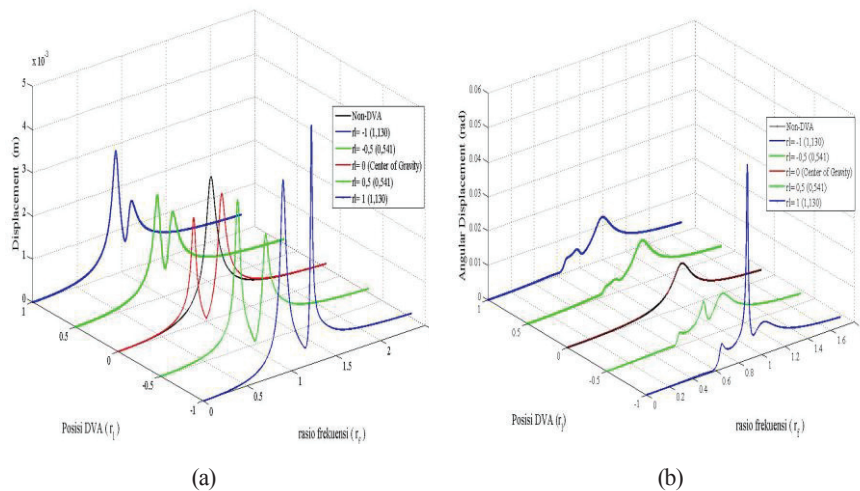
Peletakan DVA yang tidak pada titik CG maka sistem ini akan terkopel secara statis. Terkopelnya sistem secara statis akan mempengaruhi jumlah DOF begitu juga jumlah resonansi yang dihasilkan gerak translasi dan gerak rotasi. Dengan perubahan rasio lengan (r_l) dengan posisi jarak sumber eksitasi 0,145 m terdapat suatu perbedaan dalam suatu peredaman dimana hal ini akan berkaitan dengan gerak translasi dipengaruhi gerak rotasi dan sebaliknya. Maka sistem ini terkopel dengan adanya nilai panjang lengan absorber.



Gambar 3 Perbandingan Grafik RMS Karakteristik Respon (a) Getaran Translasi dan (b) Getaran Rotasi dengan Pengaruh perubahan posisi jarak sumber eksitasi 0,145 m

Adapun nilai pengurangan nilai redaman rms *displacement* pada rasio 0, -0,5 dan -1 dipengaruhi oleh amplitudo *angular displacement*. Pada gambar 3 bahwa pengurangan redaman untuk lengan momen DVA berhubungan langsung dengan redaman yang dihasilkan pada (a) gerak translasi $r_l = -1 : 0,0001001$ m, $r_l = -0,5 : 0,00006409$ m, $r_l = 0,5 : 0,0001031$ m dan $r_l = 1 : 0,0001491$ m. Begitu juga dengan (b) arah getaran rotasi dengan nilai puncak pada $r_l = -1 : 0,009262$ rad, $r_l = -0,5 : 0,009923$ rad, $r_l = 0,5 : 0,009653$ rad dan $r_l = 1 : 0,00847$ rad. Hal ini pada grafik tersebut menunjukkan bahwa peredaman pada arah translasi dengan rasio lengan semakin rendah maka semakin besar peredamannya dan begitu juga sebaliknya pada arah getaran rotasi.

Dengan perubahan posisi jarak eksitasi mempunyai bentuk grafik yang tipe yang sama dimana terjadi perbedaan pada nilai besarnya.



Gambar 4 Perbandingan Grafik RMS Karakteristik Respon (a) Getaran Translasi dan (b) Getaran Rotasi dengan Pengaruh perubahan posisi jarak sumber eksitasi 0,18 m

Dapat pada gambar 4 bahwa pengurangan redaman untuk lengan momen DVA berhubungan langsung dengan redaman yang dihasilkan pada (a) gerak translasi $r_l = -1 : 0,0004212$ m, $r_l = -0,5 : 0,00008976$ m, $r_l = 0,5 : 0,0006542$ m dan $r_l = 1 : 0,0006857$ m. Begitu juga dengan (b) arah getaran rotasi dengan nilai puncak pada $r_l = -1 : 0,009243$ rad, $r_l = -0,5 : 0,01075$ rad, $r_l = 0,5 : 0,01246$ rad dan $r_l = 1 : 0,01238$ rad. Secara keseluruhan bahwa semakin besar rasio lengan momen (r_l) dan juga semakin panjang posisi jarak eksitasi dari titik CG maka resonansi awal akan berada lebih rendah bilamana DVA menjauhi sumber eksitasi. Dan sebaliknya untuk rasio lengan momen (r_l) sisi mendekati sumber eksitasi. Sedangkan untuk resonansi kedua pada jarak eksitasi 0,18 m berada pada rasio frekuensi yang tinggi ketika rasio lengan momen yang diberikan semakin besar.

Dengan perubahan posisi sumber eksitasi maka ada perubahan rasio lengan momen (r_l) selain perubahan letak resonansi dan jumlah resonansi serta akan merubah juga besarnya RMS respon getaran yang terjadi. Semakin besar lengan momen yang diberikan maka resonansi pertama terjadi pada rasio frekuensi rotasi lebih rendah. Dengan demikian semakin bergesernya resonansi pertama ini tentunya nilai RMS *angular displacement* pada rasio frekuensi rotasi = 1 menjadi semakin rendah. Berdasarkan respon getaran rotasi dimana nilai RMS *Angular displacement* saat anti resonansi rendah maka nilai amplitudo dari *angular displacement* pada momen lengan $r_l = 1$ maupun $r_l = -1$.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi yang dihasilkan dengan variasi lengan momen DVA pada arah translasi mampu mereduksi getaran di rasio frekuensi antara 0,8 s.d 1,2 dimana yang artinya semakin besar panjang lengan momen DVA maka pengurangan getaran rms *displacement* lebih besar pada posisi sumber eksitasi 0,12 m. Dari grafik ini diperoleh besaran reduksi getaran pada setiap perubahan redaman pada gerak translasi $r_l = -1 : 0,0001132$ m, $r_l = -0,5 : 0,0001168$ m, $r_l = 0,5 : 0,0000950$ m, $r_l = 1 : 0,0001312$ m. Pada jarak posisi eksitasi 0,18 m arah getaran rotasi nilai puncak pada $r_l = -1 : 0,009243$ rad, $r_l = -0,5 : 0,01075$ rad, $r_l = 0,5 : 0,01246$ rad, $r_l = 1 : 0,01238$ rad. Sehingga variasi perubahan posisi sumber eksitasi maka daerah pengurangan getaran translasi menjadi semakin lebar pada rasio frekuensinya bilamana besar lengan momen yang diberikan semakin besar di rasio lengan momen $r_l = -1$ dan $r_l = 1$

5. Daftar Pustaka

- [1] Susastro. (2015), Pengaruh Perubahan Posisi Massa SDVA Dari Titik Berat Massa Utama Terhadap Karakteristik Getaran Translasi-Rotasi Sistem Utama 2 DOF, ST.MT. Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [2] Kusumadewayanti, E. (2015). Studi Pengaruh Penambahan *Dual Dynamic Vibration Absorber* (DVA) – Independet terhadap Respon Getaran Translasi dan Rotasi Pada Sistem Utama 2 DOF, ST.MT. Tesis Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [3] Krenk, Steen. (2013). “*Tuned Mass Absorber On A Fleksible Structure*”. Science Direct. 1577-1595.
- [4] Lostari. A. (2015), Studi Perbandingan Pengaruh Penambahan SDVA dan DDVA Tersusun Seri Terhadap Respon Getaran Translasi Sistem Utama. ST.MT. Tesis Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [5] Yoshida, Kazuo.1996. “*Active Vibration Control For Builder Subjected To Horizontal And Vertical Large Seismic Excitation*”. IEEE Procedings of the 35 th. Coference on decision abd Control.7803-3590-2.
- [6] Kefu & Liu, (2005), “ The Damped Dynamic Vibration Absorber : Revisited and Result”, Journal of Sound and Vibration 284 (2005) 1181-1189.