

Pemodelan dan Analisis Pengaruh Rasio Jarak dan Rasio Massa DVA Terhadap Respon Massa Utama dengan Dual-DVA Ganda

Agus Setiawan¹, Ardi Noerpamoengkas²
Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya^{1,2}
e-mail: agussetiawan04040808@gmail.com¹

ABSTRACT

One of the efforts to reduce the vibration response is the DVA (Dynamic Vibration Absorber) addition. The DVA configuration model can be two DVA mass-spring-damping or DDVA (Dual DVA). In this study, DDVA was placed on the left and right sides of the main mass, respectively. The ratio of the DVA distance to the center of main mass and the ratio of the DVA masses are varied. The model is simulated by using numerical software. The simulation results of the time domain response are processed to obtain the amplitude and RMS values of the response. The decrease in the rotational direction vibration response is more significant than the vertical direction. The value of the rotational direction vibration response is lower and the vertical direction one is higher in the condition of asymmetrical DVA distance. The value of the rotation response decreases with the larger right-sided DVA mass and the right-side excitation phase that leads to the left side. The percentage of reduction in the vertical direction response decreases, followed by an increase in the percentage reduction in the rotational direction response.

Kata kunci: Dual-DVA, modelling, simulation, vibration

ABSTRAK

Salah satu upaya untuk mereduksi respon getaran adalah penambahan DVA (*Dynamic Vibration Absorber*). Model konfigurasi DVA dapat berupa menempatkan dua massa-pegas-redaman atau DDVA (*Dual DVA*). Pada penelitian ini, DDVA ditempatkan masing-masing pada sisi kiri dan kanan massa utama. Rasio jarak DVA terhadap titik pusat massa utama dan rasio massa DVA divariasikan. Model disimulasikan menggunakan *software* numerik. Hasil simulasi respon domain waktu diolah untuk mendapatkan nilai amplitudo dan RMS respon. Penurunan respon getaran arah rotasi lebih signifikan dibandingkan arah vertikal. Nilai respon getaran arah rotasi lebih rendah dan arah vertikal lebih tinggi pada kondisi jarak DVA yang tidak simetris. Nilai respon rotasi semakin turun pada massa DVA sisi kanan yang lebih besar dan fase eksitasi sisi kanan yang mendahului sisi kiri. Presentase reduksi respon arah vertikal semakin turun diikuti dengan kenaikan presentase reduksi respon arah rotasi.

Kata kunci: Dual DVA, getaran, pemodelan, simulasi

PENDAHULUAN

Ada banyak cara mereduksi getaran. Pada sistem getaran dengan eksitasi gerak landasan, kebanyakan menggunakan *shock absorber* [1]. Peredaman getaran dapat pula dilakukan dengan menambahkan massa dan pegas atau sering disebut DVA (*Dynamic Vibration Absorber*) [2]–[8]. Model lain menggunakan bola menggelinding [9]. Mekanisme arus Eddy dapat pula ditambahkan ke mekanisme DVA [10]. Reduksi getaran ini ditandai dengan penurunan amplitudo getaran [11].

DVA paling sederhana digunakan untuk sistem massa-pegas utama satu derajat kebebasan dengan penambahan satu massa, satu pegas, dan satu redaman [2][11]. Tinjauan respon getaran dapat juga momen inersia, tidak hanya massa utama [3][12]. Lebih lanjut penambahan massa dan pegas DVA dapat lebih dari satu. Dua massa-pegas-redaman DVA/*Dual-DVA*/DDVA dapat terpasang secara seri [4][13] atau paralel [5][6][14][15]. Tiga massa-pegas-redaman DVA/*Triple-DVA* dapat terpasang secara seri [8]. Massa dan pegas DVA dapat berupa batang dengan massa di ujungnya [3][5]–[7][16]–[18]. Massa utama dapat pula menggunakan massa pada ujung batang kantilever [3][10][12]–[15]. Massa utama ini dapat bergetar akibat massa tidak seimbang dari mesin-mesin berputar, seperti motor, generator, dan turbin [11].

Model DVA menggunakan DDVA ganda yang dipasang pada dua sisi ujung massa utama belum pernah diteliti sebelumnya. Penelitian ini mempelajari pengaruh perbandingan jarak DDVA sisi kiri dan sisi kanan terhadap titik pusat massa utama, dan perbandingan massa pada kedua DDVA terhadap respon getaran massa utama. Keberadaan DDVA berjarak terhadap titik pusat massa utama dapat mereduksi getaran rotasi massa utama.

TINJAUAN PUSTAKA

Sistem getaran utama satu derajat kebebasan dengan pengganggu massa tidak *balance* akan menghasilkan respon getaran tinggi jika frekuensi pengganggu sama dengan frekuensi natural sistem utama. Upaya reduksi getaran dengan menambahkan massa-pegas-redaman atau DVA. Hal ini menyebabkan penurunan respon pada frekuensi kerja pengganggu yang sama [11]. Perubahan parameter pada mesin *rotary* yang disangga sebagai pengganggu, maka diperlukan perubahan parameter pada DVA pula [2].

Aini memberikan satu massa-pegas-redaman DVA/*single*-DVA/SDVA dan dua massa-pegas-redaman DVA/*dual*-DVA/DDVA pada sistem massa utama satu derajat kebebasan [4][13]. Kedua model DVA dapat mengurangi respon getaran massa utama. Pada model SDVA, reduksi getaran terbesar pada massa DVA sebesar 1/10 dari massa utama. Pada model DDVA, reduksi getaran terbesar pada massa DVA pertama 3/40 massa utama dan massa DVA kedua 1/40 massa utama.

Susastro memberikan SDVA pada massa-momen inersia utama [12]. SDVA ditempatkan dengan jarak tertentu dengan pusat massa utama. Penempatan SDVA seperti juga diterapkan bersama dengan variasi penempatan sumber eksitasi oleh Rohman [3]. Penempatan SDVA yang berjarak terhadap pusat massa utama ini dapat mengurangi respon getaran translasi dan rotasi dari massa-momen inersia utama. Fiqih menerapkan SDVA pada model gerbong kereta pada bidang lateral untuk tinjauan respon translasi dan rotasi *rolling* [19].

Upaya mereduksi getaran rotasi juga dilakukan dengan menambahkan dua DVA pada kedua sisi ujung massa-momen inersia utama. Esthi menempatkan satu massa-pegas-redaman DVA di ujung kiri dan satu DVA yang lain di ujung kanan dari massa-momen inersia utama [14]. Penempatan dua DVA secara terpisah ini disebut DDVA *independent*. Massa dan pegas DVA kedua sisi sama. Rasio massa 1/20 dan rasio konstanta pegas 0.0474 memberikan reduksi respon getaran translasi dan rotasi optimum sebesar 89.75%. Susastro [5] dan Novi [6] juga menggunakan model DVA yang serupa.

Massa dan momen inersia tambahan sebagai DVA juga dipakai untuk mereduksi respon translasi dan rotasi. Talifatim menempatkan inersia DVA dengan dua sisi pegas pada inersia utama [15]. Jarak sisi pegas terhadap titik pusat massa utama dan besar inersia DVA divariasikan. Penempatan massa dan inersia DVA seperti ini disebut DDVA *dependent*. Persentase reduksi respon getaran arah translasi hingga 94.1681% dan arah rotasi hingga 16.7781%.

Ramadhan menggunakan tiga massa-pegas-redaman DVA dengan posisi berjarak tertentu dari titik pusat massa utama [8]. Semakin besar jarak tersebut semakin kecil RMS respon massa utama arah translasi dan rotasi. Massa DVA yang semakin besar juga menyebabkan RMS respon arah translasi dan rotasi semakin turun.

METODE

Model konfigurasi sistem getaran dengan DDVA ganda dapat dilihat pada gambar 1. Selanjutnya persamaan matematis diturunkan berdasarkan parameter-parameter sistem. Persamaan matematis diubah ke bentuk *state variable equation*. Bentuk persamaan ini digunakan untuk simulasi numerik [20][21]. Tipe *solver* ODE4. Simulasi menghasilkan data respon. Data tersebut diolah lebih lanjut untuk memperoleh RMS pada tiap variasi. Ukuran langkah simulasi 0.001 detik.

Berikut ini persamaan gaya yang terjadi pada sistem.

$$F_{ml} = m_l \cdot e_l \cdot \omega_l^2 \cdot \sin(\omega_l \cdot t - \varphi) \quad (1)$$

$$F_{mr} = m_r \cdot e_r \cdot \omega_r^2 \cdot \sin(\omega_r \cdot t) \quad (2)$$

$$F_{ul} = k_{ul} \cdot (y_u - \theta \cdot L_{ul}) + c_{ul} \cdot (\dot{y}_u - \dot{\theta} \cdot L_{ul}) \quad (3)$$

$$F_{ur} = k_{ur} \cdot (y_u + \theta \cdot L_{ur}) + c_{ur} \cdot (\dot{y}_u + \dot{\theta} \cdot L_{ur}) \quad (4)$$

$$F_{dva1l} = k_{dva1l} \cdot (y_u - \theta \cdot L_{dva1l} - y_{dva1l}) + c_{dva1l} \cdot (\dot{y}_u - \dot{\theta} \cdot L_{dva1l} - \dot{y}_{dva1l}) \quad (5)$$

$$F_{dva2l} = k_{dva2l} \cdot (y_{dva1l} - y_{dva2l}) + c_{dva2l} \cdot (\dot{y}_{dva1l} - \dot{y}_{dva2l}) \quad (6)$$

$$F_{dva1r} = k_{dva1r} \cdot (y_u + \theta \cdot L_{dva1r} - y_{dva1r}) + c_{dva1r} \cdot (\dot{y}_u + \dot{\theta} \cdot L_{dva1r} - \dot{y}_{dva1r}) \quad (7)$$

$$F_{dva2r} = k_{dva2r} \cdot (y_{dva1r} - y_{dva2r}) + c_{dva2r} \cdot (\dot{y}_{dva1r} - \dot{y}_{dva2r}) \quad (8)$$

Adapun persamaan gerak sistem sebagai berikut.

$$F_{mr} - F_{ml} - F_{ul} - F_{ur} - F_{dva1l} - F_{dva1r} = m_u \cdot \ddot{y}_u \quad (9)$$

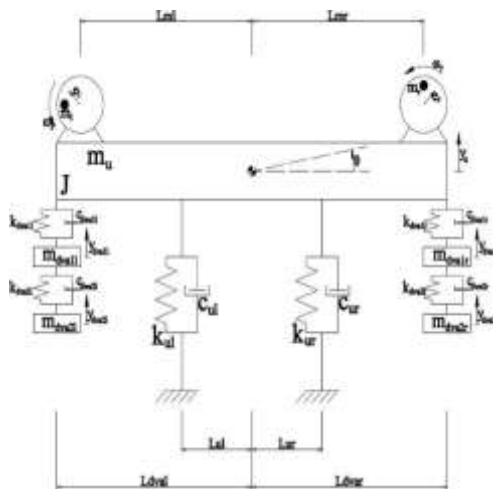
$$F_{ml} \cdot L_{ml} + F_{mr} \cdot L_{mr} + F_{ul} \cdot L_{ul} - F_{ur} \cdot L_{ur} + F_{dva1l} \cdot L_{dval} - F_{dva1r} \cdot L_{dvar} = J \cdot \ddot{\theta} \quad (10)$$

$$F_{dva1l} - F_{dva2l} = m_{dva1l} \cdot \ddot{y}_{dva1l} \quad (11)$$

$$F_{dva2l} = m_{dva2l} \cdot \ddot{y}_{dva2l} \quad (12)$$

$$F_{dva1r} - F_{dva2r} = m_{dva1r} \cdot \ddot{y}_{dva1r} \quad (13)$$

$$F_{dva2r} = m_{dva2r} \cdot \ddot{y}_{dva2r} \quad (14)$$



Gambar 3. Model sistem getaran dengan Dual-DVA ganda.

Di mana m_u adalah massa utama, J momen inersia utama, F_{ml} gaya akibat eksitasi sisi kiri, m_l massa *unbalance* sisi kiri, e_l eksentrisitas massa *unbalance* sisi kiri, ω_l kecepatan putar massa *unbalance*/frekuensi eksitasi sisi kiri, ϕ beda fase eksitasi sisi kiri terhadap sisi kanan, F_{mr} gaya akibat eksitasi sisi kanan, m_r massa *unbalance* sisi kanan, e_r eksentrisitas massa *unbalance* sisi kanan, ω_r kecepatan putar massa *unbalance*/frekuensi eksitasi sisi kanan, t waktu, F_{ul} gaya akibat pegas-redaman penyangga massa utama sisi kiri, k_{ul} pegas penyangga massa utama sisi kiri, c_{ul} redaman penyangga massa utama sisi kiri, L_{ul} jarak pegas-redaman sisi kiri terhadap titik pusat massa utama, F_{ur} gaya akibat pegas-redaman penyangga massa utama sisi kanan, k_{ur} pegas penyangga massa utama sisi kanan, c_{ur} redaman penyangga massa utama sisi kanan, L_{ur} jarak pegas-redaman sisi kanan terhadap titik pusat massa utama, L_{dval} jarak DVA sisi kiri, m_{dva1l} massa DVA pertama sisi kiri, F_{dva1l} gaya akibat pegas-redaman DVA pertama sisi kiri, k_{dva1l} pegas DVA pertama sisi kiri, c_{dva1l} redaman DVA pertama sisi kiri, m_{dva2l} massa DVA kedua sisi kiri, F_{dva2l} gaya akibat pegas-redaman DVA kedua sisi kiri, k_{dva2l} pegas DVA kedua sisi kiri, c_{dva2l} redaman DVA kedua sisi kiri, L_{dvar} jarak DVA sisi kanan, m_{dva1r} massa DVA pertama sisi kanan, F_{dva1r} gaya akibat pegas-redaman DVA pertama sisi kanan, k_{dva1r} pegas DVA pertama sisi kanan, c_{dva1r} redaman DVA pertama sisi kanan, m_{dva2r} massa DVA kedua sisi kanan, F_{dva2r} gaya akibat pegas-redaman DVA kedua sisi kanan, k_{dva2r} pegas DVA kedua sisi kanan, c_{dva2r} redaman DVA kedua sisi kanan, y_u respon *displacement* vertikal massa utama, θ respon *displacement* sudut inersia utama, y_{dva1l} respon *displacement* vertikal m_{dva1l} , y_{dva2l} respon *displacement* vertikal m_{dva2l} , y_{dva1r} respon *displacement* vertikal m_{dva1r} , y_{dva2r} respon *displacement* vertikal m_{dva2r} . Parameter-parameter sistem ditentukan sebelum simulasi. Nilai massa DVA di satu sisi dibuat sama. Perbandingan jarak dan nilai massa DVA divariasikan sehingga nilai massa DVA, m_{dva1l} , m_{dva2l} , m_{dva1r} , m_{dva2r} , dan jarak DVA, L_{dval} , L_{dvar} bervariasi. Variasi nilai massa dan jarak DVA ini dapat dilihat pada tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Variasi rasio jarak DVA.

No.	Variasi	Massa DVA kiri (kg)		Massa DVA kanan (kg)		Jarak DVA (m)		$L_{dval} : L_{dvar}$
		m_{dva1l}	m_{dva2l}	m_{dva1r}	m_{dva2r}	L_{dval}	L_{dvar}	
1	1	5	5	5	5	0.6	0.3	2:1
2	2	5	5	5	5	0.45	0.45	1:1
3	3	5	5	5	5	0.3	0.6	1:2

Tabel 2. Variasi rasio massa DVA.

No.	Variasi	Massa DVA kiri (kg)		Massa DVA kanan (kg)		Jarak DVA (m)		$m_{dva1l} : m_{dva1r}$
		m_{dva1l}	m_{dva2l}	m_{dva1r}	m_{dva2r}	L_{dval}	L_{dvar}	
1	1	7,5	7,5	2,5	2,5	0,45	0,45	3:1
2	2	5	5	5	5	0,45	0,45	1:1
3	3	2,5	2,5	7,5	7,5	0,45	0,45	1:3

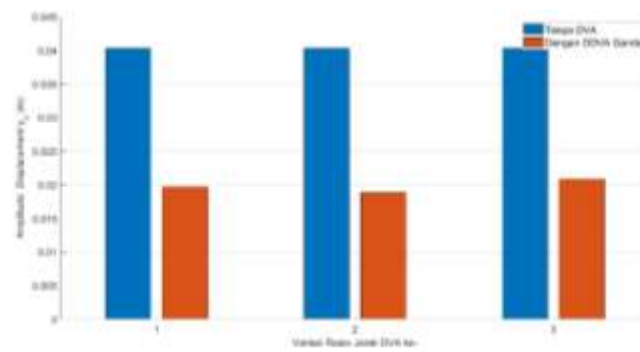
Tabel 3. Parameter-parameter sistem dan eksitasi yang lain.

No.	Notasi	Besaran	Nilai	Satuan
1	m_u	Massa utama	10	kg
2	J	Momen inersia utama	0.9	kg.m ²
3	k_{dva1l}	Pegas DVA 1 kiri	50	N/m
4	c_{dva1l}	Redaman DVA 1 kiri	30	N.s/m
5	k_{dva2l}	Pegas DVA 2 kiri	50	N/m
6	c_{dva2l}	Redaman DVA kiri	30	N.s/m
7	k_{dva1r}	Pegas DVA 1 kanan	50	N/m
8	c_{dva1r}	Redaman DVA 1 kanan	30	N.s/m
9	k_{dva2r}	Pegas DVA 2 kanan	50	N/m
10	c_{dva2r}	Redaman DVA 2 kanan	30	N.s/m
11	k_{ul}	Pegas utama kiri	80	N/m
12	c_{ul}	Redaman utama kiri	20	N.s/m
13	k_{ur}	Pegas utama kanan	80	N/m
14	c_{ur}	Redaman utama kanan	20	N.s/m
15	L_{ul}	Jarak pusat massa utama dengan DVA kiri	0,25	m
16	L_{ur}	Jarak pusat massa utama dengan DVA kanan	0,25	m
17	L_{ml}	Jarak pusat massa utama dengan eksitasi kiri	0,5	m
18	m_l	Massa <i>unbalance</i> sisi kiri	1	kg
19	e_l	Eksentrisitas massa <i>unbalance</i> sisi kiri	0.25	m
20	ω_l	Kecepatan putar massa <i>unbalance</i> sisi kiri	5	rad/s
21	ϕ	Beda fase eksitasi sisi kiri terhadap sisi kanan	0.5π	rad
22	L_{mr}	Jarak pusat massa utama dengan eksitasi kanan	0,5	m
23	m_r	Massa <i>unbalance</i> sisi kanan	1	kg
24	e_r	Eksentrisitas massa <i>unbalance</i> sisi kanan	0.25	m
25	ω_r	Kecepatan putar massa <i>unbalance</i> sisi kanan	5	rad/s

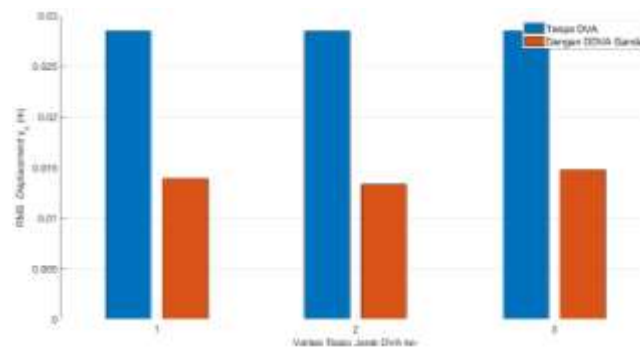
Hasil simulasi yang berupa respon getaran domain waktu diolah agar RMS dan amplitudo respon tersebut dapat diperoleh. Respon getaran yang ditinjau adalah respon *displacement* vertikal m_u atau y_u , dan respon *displacement* sudut J atau θ . Nilai RMS dan amplitudo tersebut, di tiap nilai yang divariasikan, dibandingkan dengan nilainya pada kondisi sistem getaran tanpa DVA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

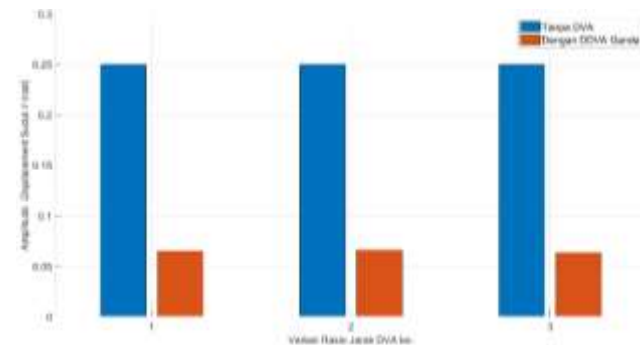
Secara umum, penambahan DDVA ganda dapat menurunkan respon getaran massa utama. Hal ini berlaku pada respon getaran y_u dan θ . Penurunan itu dapat dilihat pada nilai amplitudo dan RMS pada kedua respon getaran tersebut. Grafik nilai amplitudo dan RMS respon getaran akibat variasi rasio jarak DVA terhadap titik pusat massa utama dapat dilihat pada gambar berikut.



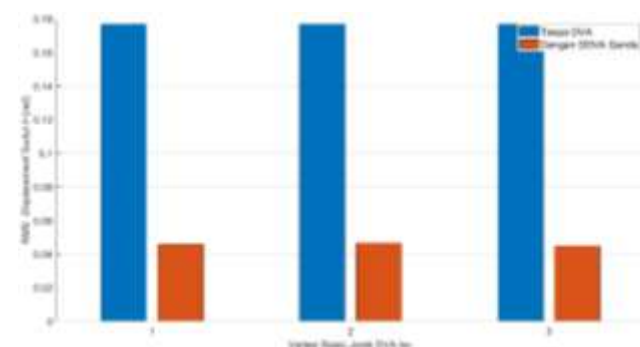
Gambar 4. Pengaruh variasi rasio jarak DVA terhadap amplitudo y_u .



Gambar 5. Pengaruh variasi rasio jarak DVA terhadap RMS y_u .



Gambar 6. Pengaruh variasi rasio jarak DVA terhadap amplitudo θ .



Gambar 7. Pengaruh variasi rasio jarak DVA terhadap RMS θ .

Tabel 4. Nilai respon getaran pada sistem getaran tanpa DVA.

Amplitudo y_u (m)	RMS y_u (m)	Amplitudo θ (rad)	RMS θ (rad)
0.0403	0.0285	0.2500	0.1768

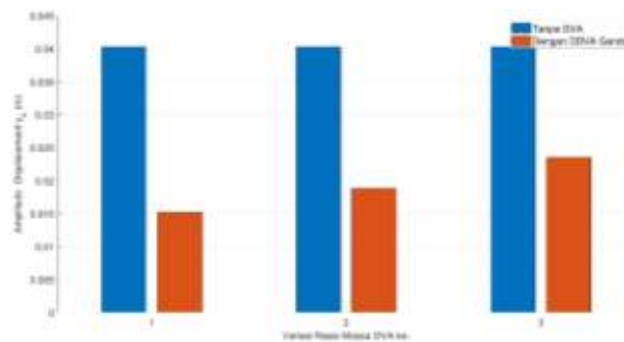
Tabel 5. Nilai respon getaran pada sistem getaran dengan DDVA ganda dengan variasi rasio jarak DVA.

No.	Variasi	Amplitudo y_u		RMS y_u		Amplitudo θ		RMS θ	
		Nilai (m)	Penurunan (%)	Nilai (m)	Penurunan (%)	Nilai (rad)	Penurunan (%)	Nilai (rad)	Penurunan (%)
1	1	0.0197	51.1166	0.0139	51.2281	0.0650	74	0.0460	73.9819
2	2	0.0188	53.3499	0.0133	53.3333	0.0660	73.6	0.0467	73.5860
3	3	0.0209	48.1390	0.0148	48.0702	0.0636	74.56	0.0450	74.5475

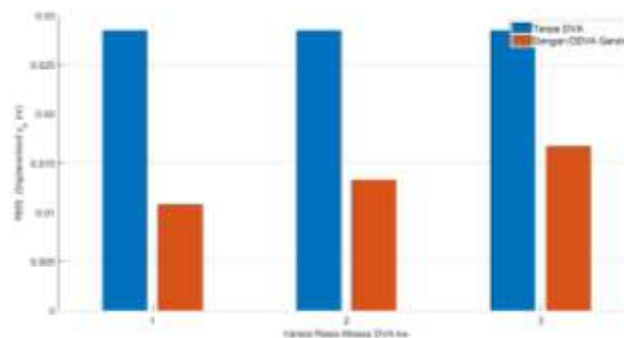
Tabel 6. Nilai respon getaran pada sistem getaran dengan DDVA ganda dengan variasi rasio massa DVA.

No.	Variasi	Amplitudo y_u		RMS y_u		Amplitudo θ		RMS θ	
		Nilai (m)	Penurunan (%)	Nilai (m)	Penurunan (%)	Nilai (rad)	Penurunan (%)	Nilai (rad)	Penurunan (%)
1	1	0.0152	62.2829	0.0108	62.1053	0.0771	69.16	0.0545	69.1742
2	2	0.0188	53.3499	0.0133	53.3333	0.0660	73.6	0.0467	73.5860
3	3	0.0236	41.4392	0.0167	41.4035	0.0609	75.64	0.0431	75.6222

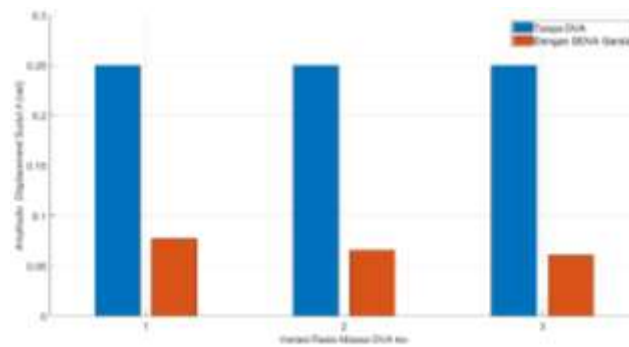
Penurunan respon juga terjadi pada variasi rasio massa DVA. Hal ini dapat dilihat dari nilai amplitudo dan RMS dari respon y_u dan θ yang lebih rendah dibandingkan respon sistem getaran tanpa DVA. Grafik nilai amplitudo dan RMS respon getaran akibat variasi rasio massa DVA dapat dilihat pada gambar berikut.



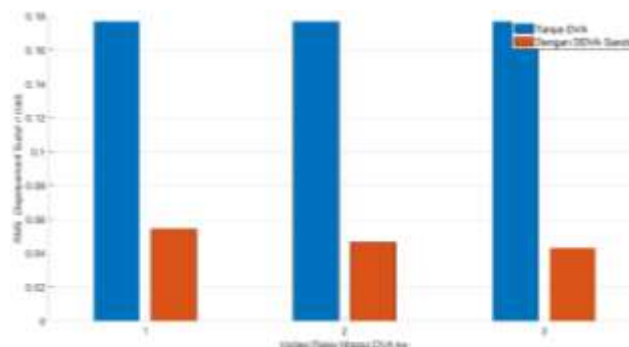
Gambar 8. Pengaruh variasi rasio massa DVA terhadap amplitudo y_u .



Gambar 9. Pengaruh variasi rasio massa DVA terhadap RMS y_u .

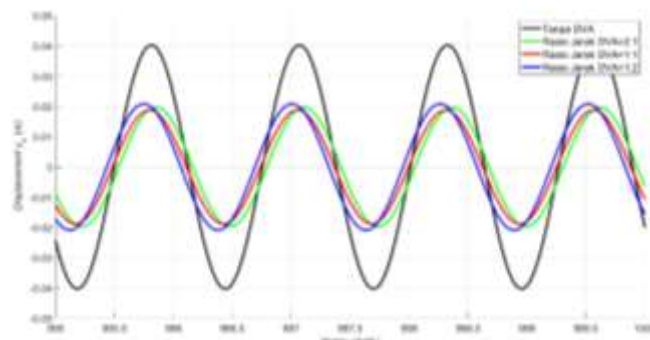


Gambar 10. Pengaruh variasi rasio massa DVA terhadap amplitudo θ .

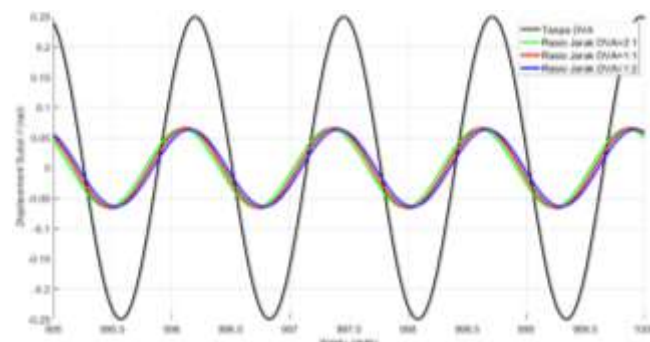


Gambar 11. Pengaruh variasi rasio massa DVA terhadap RMS θ .

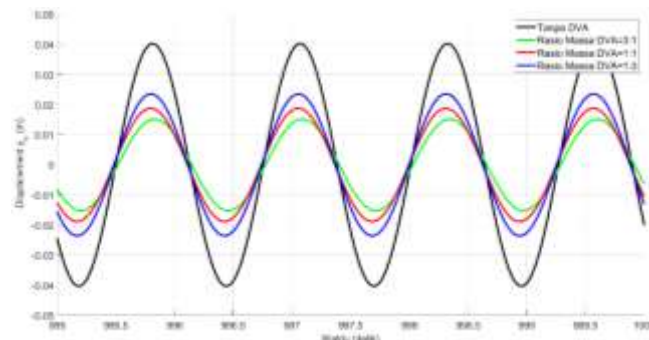
Adapun grafik respon domain waktu dapat dilihat pada gambar berikut. Masing-masing grafik menggambarkan respon y_u dan θ akibat pengaruh variasi rasio jarak dan massa DVA. Respon tersebut juga dibandingkan dengan respon sistem tanpa DVA. Periode respon yang sama menandakan semua kondisi menggunakan eksitasi yang sama.



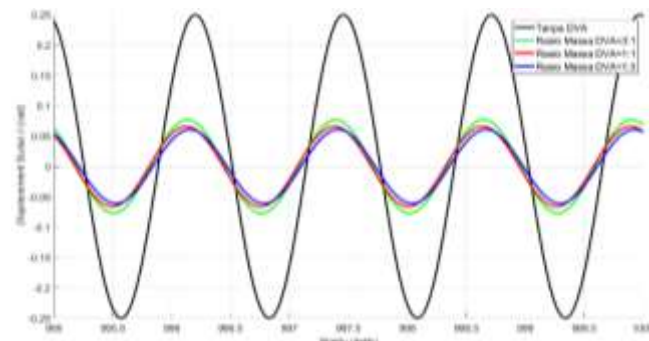
Gambar 12. Respon y_u kondisi tunak akibat variasi rasio jarak DVA.



Gambar 13. Respon θ kondisi tunak akibat variasi rasio jarak DVA.



Gambar 14. Respon y_u kondisi tunak akibat variasi rasio massa DVA.



Gambar 15. Respon θ kondisi tunak akibat variasi rasio massa DVA.

Penurunan nilai amplitudo dan respon *displacement*, baik vertikal dan rotasi, pada massa utama menunjukkan model simulasi valid terhadap fenomena sistem getaran dengan DVA yang umum terjadi [11]. Hal ini terjadi karena terjadi perubahan tren amplitudo respon akibat penambahan massa-pegas-redaman DVA. Puncak respon pada resonansi juga turut berubah karena penambahan derajat kebebasan sistem getaran.

Penurunan respon getaran arah rotasi lebih signifikan dibandingkan arah vertikal. Hal ini dapat disebabkan karena posisi DDVA yang menjauhi titik pusat massa utama. Nilai respon getaran arah rotasi lebih rendah dan arah vertikal lebih tinggi pada kondisi jarak DVA yang tidak simetris. Hal ini disebabkan karena jarak DVA yang tidak simetris memberikan torsi yang lebih besar untuk meredam getaran arah rotasi. Sedangkan kondisi jarak DVA simetris (rasio jarak DVA 1:1) menyebabkan pengaruh kedua DDVA cenderung saling meniadakan terhadap arah rotasi dan lebih meredam getaran arah vertikal. Nilai respon rotasi semakin turun pada massa DVA sisi kanan yang lebih besar. Hal ini disebabkan torsi akibat DVA lebih besar pada kondisi fase eksitasi sisi kanan mendahului sisi kiri. Penurunan persentase reduksi respon arah vertikal diikuti kenaikan persentase reduksi respon arah rotasi. Hal ini menunjukkan energi mekanis sistem secara umum sama karena parameter eksitasi sama.

Studi lebih lanjut dapat dilakukan dengan mempelajari tentang karakteristik sistem. Hal ini dapat dilihat dari pengaruh frekuensi eksitasi terhadap amplitudo respon getar. Pengaruh parameter DVA terhadap respon domain frekuensi ini dapat dipelajari lebih lanjut. Model DDVA dapat pula dibandingkan dalam berbagai konfigurasi, termasuk yang dimodelkan pada penelitian ini.

KESIMPULAN

Pada model DDVA ganda dengan penempatan di kedua sisi massa utama, penurunan respon getaran arah rotasi lebih signifikan dibandingkan arah vertikal. Nilai respon getaran arah rotasi lebih rendah dan arah vertikal lebih tinggi pada kondisi jarak DVA yang tidak simetris. Nilai respon rotasi semakin turun pada massa DVA sisi kanan yang lebih besar dan fase eksitasi sisi kanan yang mendahului sisi kiri. Presentase reduksi respon arah vertikal semakin turun diikuti dengan kenaikan presentase reduksi respon arah rotasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. A. Patriawan, H. Irawan, A. Noerpamoengkas, B. Setyono, and A. Y. Ismail, "Definition, criteria and approaches in designing suspension system with active controls," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1010, no. 1, p. 012006, Jan. 2021.
- [2] Y. Fitri and Y. Susatio, "Simulasi Peredaman Getaran Mesin Rotasi Menggunakan Dynamic Vibration Absorber (DVA)," *J. Tek. ITS*, vol. 2, no. 2, pp. D108–D112, 2013.
- [3] A. Rohman and H. L. Guntur, "Pengaruh Perubahan Posisi Sumber Eksitasi Dan Massa DVA Dari Titik Berat Massa Beam Terhadap Karakteristik Getaran Translasi Dan Rotasi," in *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri*, 2016, p. A.1.
- [4] A. Lostari, "Simulasi Peredam Getaran TDVA dan DDVA Tersusun Seri terhadap Respon Getaran Translasi Sistem Utama," *J. Mech. Eng. Mechatronics*, vol. 2, no. 01, pp. 2017–2026, Jan. 2018.
- [5] Susastro and N. I. Riani, "Optimizing vibration reduction in 2DOF system with change position of independent translational D-DVA," *Int. J. Mech. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 8, pp. 882–892, 2018.
- [6] N. Indah Riani and Susastro, "PENGARUH PENAMBAHAN MASA dDVA (DUAL DYNAMIC VIBRATION ABSORBER) UNTUK MEREDAM GETARAN TRANSLASI DAN ROTASI PADA BEAM," *Pros. Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap.*, vol. 0, no. 0, pp. 227–234, Sep. 2018.
- [7] Susastro, I. S. Atmanto, and S. U. Handayani, "Vibration Response Characteristics of 2 DOF Systems with the Addition of Dual Translational Dynamic Vibration Absorber by the Experimental Approach," *Int. J. Mech. Eng. Technol.*, vol. 10, no. 12, pp. 1–9, 2019.
- [8] R. Ramadhan and A. Noerpamoengkas, "PEMODELAN DAN ANALISIS PENGARUH JARAK DAN MASSA DVA TERHADAP RESPON GETARAN MASSA UTAMA DENGAN TRIPLE-DVA TERSUSUN SERI," *Pros. Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap.*, vol. 9, no. 1, pp. 478–484, Oct. 2021.
- [9] N. Irfani, A. Noerpamoengkas, I. Bagus, J. T. Mesin, T. Adhi, and T. Surabaya, "Studi Eksperimental Pengaruh Radius Lintasan dan Massa Bola Terhadap Respon Getaran Model Bangunan Berperedam Bola," in *Prosiding SENASTITAN: Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan*, Mar. 2021, vol. 1, no. 1, p. 415.
- [10] R. Efendi, A. Noerpamoengkas, H. Syafik Maulana, P. Studi, and T. Mesin, "Studi Eksperimental Pengaruh Panjang Penyangga Magnet pada Getaran Batang dengan Eddy Current Tuned Mass Damper," *J. Teknol. dan Manaj.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–6, Mar. 2021.
- [11] S. S. Rao, *Mechanical Vibrations*, 5th ed. Upper Saddle River: Pearson Education, Inc, 2011.
- [12] Susastro and H. L. Guntur, "Pengaruh Perubahan Posisi Massa SDVA Dari Titik Berat Masa Utama Terhadap Karakteristik Getaran Translasi & Rotasi Sistem Utama 2 DOF," in *Seminar Nasional Teknik Mesin 10*, 2015, p. DS-6.
- [13] A. Lostari, H. L. Guntur, and W. Hendrowati, "Studi Perbandingan Pengaruh Penambahan SDVA Dan DDVA Tersusun Seri Terhadap Respon Getaran Translasi Sistem Utama," in *Seminar Nasional Teknik Mesin 10*, 2015, p. DS-23.
- [14] E. Kusumadewayanti and H. L. Guntur, "Studi Pengaruh Massa Dan Perubahan Lengan Momen Dual Dynamic Vibration Absorber (DVA)-Independent Terhadap Respon Getaran Sistem Utama 2-DOF," in *Seminar Nasional Teknik Mesin 10*, 2015, p. DS-28.
- [15] T. Machfuroh and H. L. Guntur, "Studi Pengaruh Penambahan Dual Dynamic Vibration Absorber (DDVA)-Dependent terhadap Respon Getaran Translasi dan Rotasi," in *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri*, 2016, p. A.37.
- [16] S. Susastro, N. I. Riani, and A. F. H. Muhammad, "Karakteristik Respon Getaran Sistem 2 DOF Setelah Penambahan Independent Dual Translational Dynamic Vibration Absorber," *JRST (Jurnal Ris. Sains dan Teknol.*, vol. 3, no. 1, pp. 27–33, Oct. 2019.
- [17] N. Indah Riani et al., "PENDEKATAN KARAKTERISTIK RESPON GETARAN SISTEM 2 DOF SETELAH PENAMBAHAN INDEPENDENT DUAL TRANSLASIONAL DYNAMIC VIBRATION ABSORBER," *SINTEK J. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 13, no. 1, pp. 1–7, Jun. 2019.
- [18] S. Susastro and N. I. Riani, "Pendekatan Eksperimen Karakteristik Respon Getaran Sistem Two Degree of Freedom dengan Penambahan Independent Dual Dynamic Vibration Absorber," *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) J.*, vol. 3, no. 2, pp. 85–90, May 2019.
- [19] W. M. Fiqih and A. Noerpamoengkas, "PEMODELAN DAN ANALISIS PENGARUH JARAK DVA, KECEPATAN, DAN KEDALAMAN CELAH TERHADAP SIMPANGAN MAKSIMUM RESPON

- GETARAN PADA GERBONG KERETA API ARAH ROTASI DAN TRANSLASI,” *Pros. Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap.*, vol. 9, no. 1, pp. 470–477, Oct. 2021.
- [20] C. M. Close, D. K. Frederick, and J. C. Newell, *Modeling and Analysis of Dynamic Systems*, 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 2002.
- [21] A. Noerpamoengkas and M. Ulum, “PEMODELAN GERAK PENDULUM VERTIKAL PADA KONVERTER ENERGI GELOMBANG BERINERSIA TAMBAHAN SAAT RESONANSI,” *J. IPTEK*, vol. 21, no. 1, pp. 61–68, May 2017.