

# Studi Karakteristik Reduksi Getaran Translasi Dan Rotasi Sistem Utama dan Energi Listrik yang Dihasilkan oleh Mekanisme *Cantilever Piezoelectric Vibration Absorber* (CPVA) Akibat Ketidakseimbangan Posisi Sumber Getar pada Sistem Utama

Wisnu Gilang Romadhon Arifiyanto dan Wiwiek Hendrowati

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

*e-mail*: wiiwiek@me.its.ac.id

**Abstrak**—Getaran berlebihan pada mesin industri dapat menyebabkan kerusakan pada mesin tersebut. Salah satu cara untuk mereduksi getaran tersebut dengan menggunakan *Dynamic Vibration Absorber* (DVA). Prinsip kerjanya adalah penambahan massa *absorber* dan pegas pada sistem utama. DVA akan menghasilkan getaran yang arahnya berlawanan dengan arah getar sistem utama. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Dorby[3], penggunaan DVA terbukti dapat mereduksi getaran sistem utama yang dioperasikan pada frekuensi natural pertama secara signifikan. Pada penelitian studi ini telah dirancang sebuah mekanisme *Cantilever Piezoelectric Vibration Absorber* (CPVA) sebagai *vibration absorber* dan *energi harvesting*. Sistem utama pada penelitian ini adalah plat datar yang ditopang oleh empat pegas. Plat tersebut menerima gaya eksitasi dari pegas yang dihubungkan dengan massa eksentris motor DC dibawahnya. Posisi sumber getar tidak berada pada pusat massa hal ini yang menyebabkan terjadinya getaran translasi dan rotasi. Pada penelitian ini dilakukan analisa dengan variasi kecepatan putar motor sebesar 2.5 rad/s hingga 50 rad/s dengan penambahan 2.5 rad/s. CPVA diletakkan pada pusat massa, digeser 0.2 m dari pusat massa, dan diletakkan sejauh 0.4 m dari pusat massa. Dan variasi jumlah piezoelectric yang digunakan sebanyak 1400, 1900, dan 2400 buah. Dari simulasi yang sudah dilakukan, didapatkan persentase reduksi dan energi bangkitan terbesar yang didapatkan berada pada frekuensi operasi natural pertama. Energi bangkitan berupa voltase yang direkomendasikan dan terbesar yang mampu dihasilkan oleh mekanisme CPVA ini sebesar 1.483E-03 volt dengan persentase reduksi sebesar 95.37%, yaitu saat CPVA diletakkan sejauh 0.4 m dari pusat massa dan dengan jumlah piezoelectric sebanyak 1400 buah.

**Kata Kunci**— *Cantilever Piezoelectric Vibration Absorber* (CPVA), Energi listrik, Letak sumber getar, Frekuensi, Letak CPVA.

## I. PENDAHULUAN

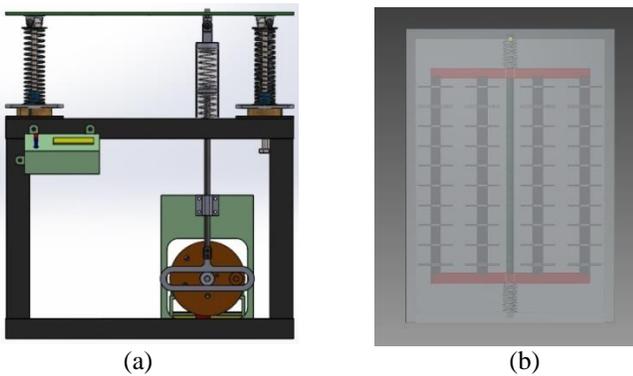
PEMAKAIAN *Dynamic Vibration Absorber* (DVA) biasanya digunakan untuk mereduksi getaran yang terjadi pada sistem utama. Penelitian mengenai DVA sudah banyak dilakukan. Energi dari getaran yang berlebihan merupakan energi kinetik, karena memiliki kecepatan tertentu saat

berosilasi [1][2][3]. Semakin besar getaran, maka energi kinetik yang dihasilkan akan semakin besar [4]. Energi kinetik tersebut dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik dengan menggunakan *Piezoelectric Cantilever* [5][6]. Sehingga selain untuk mereduksi getaran, DVA juga dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik dengan bantuan *Piezoelectric Cantilever*.

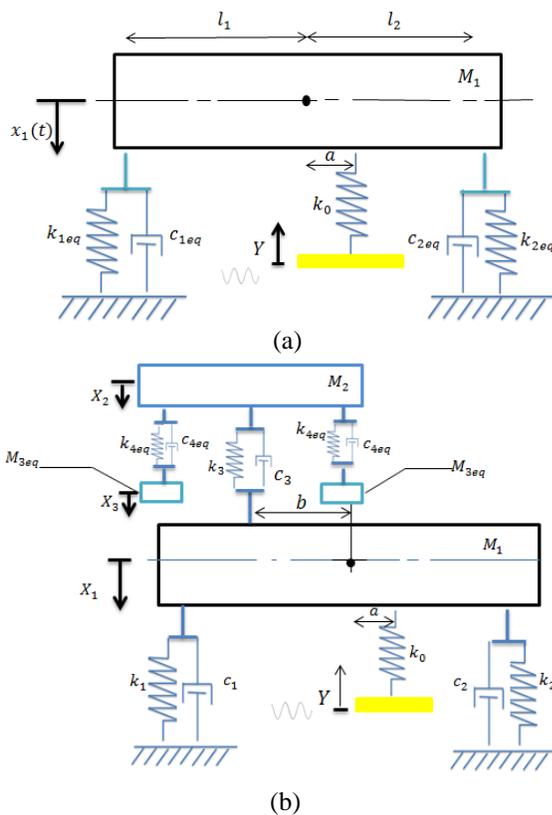
Penelitian ini membahas mekanisme alat peredam getaran berlebih dan pemanfaatan energi kinetik yang terbuang dalam skala laboratorium. Untuk menggambarkan getaran yang disimulasikan, maka dirancanglah simulator getaran yang dapat merepresentasikan getaran translasi dan rotasi dari sistem utama.

## II. URAIAN PENELITIAN

Mekanisme rancangan mendapatkan eksitasi dari pegas dibawahnya yang dihubungkan dengan massa eksentrik pada motor DC. Selanjutnya eksitasi dari massa utama tersebut akan diserap oleh massa *absorber* yang dihubungkan oleh pegas. Eksitasi dari massa *absorber* dimanfaatkan oleh *cantilever piezoelectric* dengan cara mengubah energi kinetik menjadi energi listrik. Pada penelitian ini, dilakukan analisa dengan variasi kecepatan putar motor, jumlah *piezoelectric* dan peletakkan CPVA, serta sumber getar terhadap pusat massa. Dari penelitian ini didapatkan pengaruh kecepatan putar motor, jumlah *piezoelectric*, dan peletakkan CPVA serta posisi sumber getar terhadap reduksi getaran sistem utama serta energi bangkitan yang dihasilkan.



Gambar 1. Model analisa (a) sistem utama sebagai simulator getaran, dan (b) CPVA



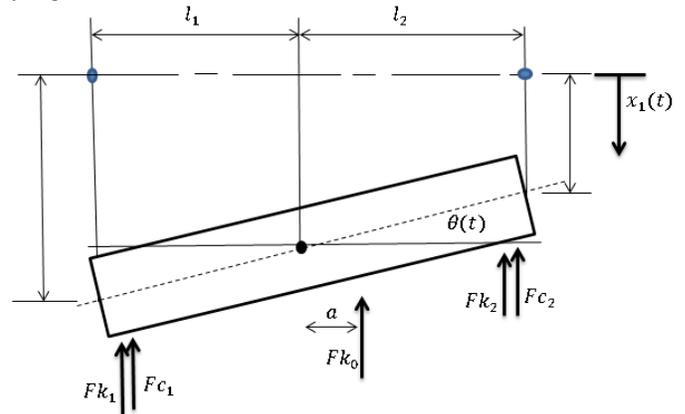
Gambar 2. Gambar model dinamis dari sistem utama (a) tanpa CPVA, dan (b) dengan CPVA.

Keterangan Gambar :

- $M_1$  : Massa Sistem Utama
- $M_2$  : Massa Absorber
- $M_3$  : Massa Piezoelectric
- $X_1$  : Displacement massa 1
- $X_2$  : Displacement massa 2
- $X_3$  : Displacement massa 3
- $Y$  : Amplitudo dari masa eksentrik
- $K_0$  : Koefisien pegas dari massa eksentrik menuju massa 1
- $K_{1eq}$  : Koefisien pegas 1 dan 3 di massa 1
- $K_{2eq}$  : Koefisien pegas 2 dan 4 di massa 1
- $K_3$  : Koefisien pegas 3 di massa 2
- $K_{4eq}$  : Koefisien pegas 4 di massa 3
- $C_1$  : Koefisien redaman 1 di massa 1
- $C_2$  : Koefisien redaman 2 di massa 1
- $C_3$  : Koefisien redaman 3 di massa 2

- $L_1$  : Jarak dari titik pusat ke pegas 1
- $L_2$  : Jarak dari titik pusat ke pegas 2

Gambar 3 dibawah ini merupakan *free body diagram* dari massa sistem utama ( $M_1$ ). Dari gambar tersebut dapat dilihat vector-vector gaya yang bekerja pada  $M_1$  Displacement yang terjadi massa sistem utama tersebut yaitu translasi dan rotasi, rotasi terjadi disebabkan karena pergeseran posisi sumber getar yang diberikan.



Gambar 3. *Free body diagram* sistem utama tanpa CPVA

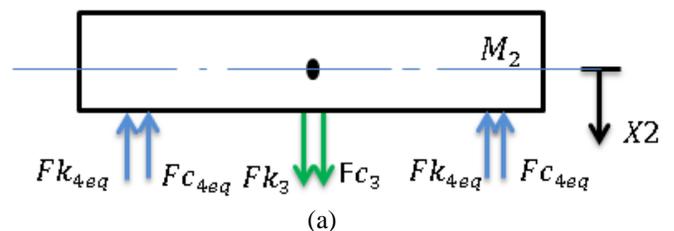
Persamaan gerak translasi sistem utama

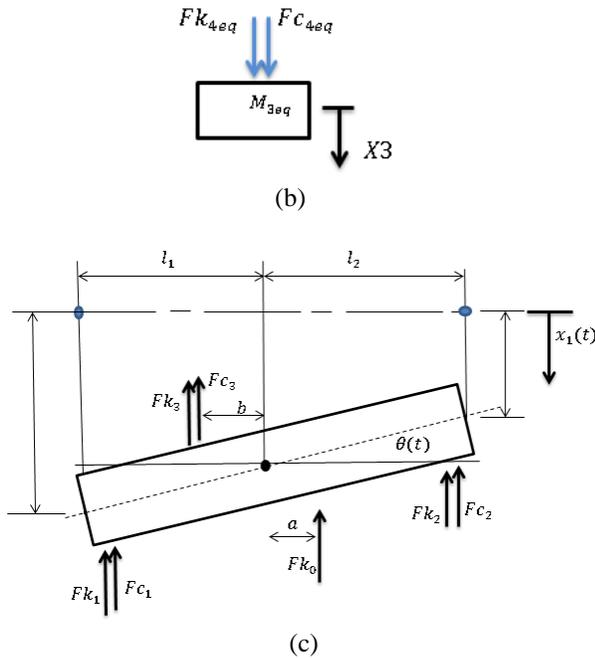
$$\begin{aligned} \Sigma F &= M_1 \ddot{x}_1 \\ -Fk_1 - Fk_2 - Fc_1 - Fc_2 - Fk_0 &= M_1 \ddot{x}_1 \\ -k_1(x_1 + \theta_1 l_1) - c_1(\dot{x}_1 + \dot{\theta}_1 l_1) - k_2(x_1 - \theta_1 l_2) - c_2(\dot{x}_1 - \dot{\theta}_1 l_2) - k_0(x_1 - y) &= M_1 \ddot{x}_1 \\ M_1 \ddot{x}_1 + (c_1 + c_2)\dot{x}_1 + (k_1 + k_0 + k_2)x_1 + (k_1 l_1 - k_2 l_2 - k_0 a)\theta_1 + (c_1 l_1 - c_2 l_2)\dot{\theta}_1 &= k_0 y \end{aligned} \quad (1)$$

Persamaan gerak rotasi sistem utama

$$\begin{aligned} \Sigma M &= J_1 \ddot{\theta}_1 \\ -Fk_1 \cdot l_1 - Fc_1 \cdot l_1 + Fk_2 \cdot l_2 + Fc_2 \cdot l_2 + Fk_0 \cdot a &= J_1 \ddot{\theta}_1 \\ -(k_1(x_1 + \theta_1 l_1))l_1 - (c_1(\dot{x}_1 + \dot{\theta}_1 l_1))l_1 + (k_2(x_1 - \theta_1 l_2))l_2 + (c_2(\dot{x}_1 - \dot{\theta}_1 l_2))l_2 - (k_0(x_1 - y))a &= J_1 \ddot{\theta}_1 \\ J_1 \ddot{\theta}_1 + (c_1 l_1 - c_2 l_2)\dot{x}_1 + (k_1 l_1 - k_2 l_2 - k_0 a)x_1 + (k_1 l_1^2 - k_2 l_2^2 + k_0 a^2)\theta_1 + (c_1 l_1^2 - c_2 l_2^2)\dot{\theta}_1 &= -k_0 y \cdot a \end{aligned} \quad (2)$$

Gambar 4 dibawah ini merupakan *Free body diagram* dari sistem utama yang telah diberi CPVA. FBD massa utama ( $M_1$ ) yang dipengaruhi oleh pegas dari massa absorber ( $Fk_3$ ). Gambar 4(b) merupakan FBD massa cantilever piezoelectric yang sudah diekuivalenkan. Gambar 4(c) merupakan FBD massa utama ( $M_1$ ) yang sudah dipengaruhi pegas ( $Fk_3$ ) dan cantilever piezoelectric yang sudah diekuivalenkan.





Gambar 4. Free body diagram (a) Massa absorber, (b) Massa Piezoelectric, dan (c) Massa utama dengan CPVA

Dari analisa gaya diatas didapatkan persamaan sebagai berikut:

Persamaan gerak translasi sistem utama

$$\sum F = M_1 \ddot{X}_1$$

$$-Fk_1 - Fc_1 - Fk_2 - Fc_2 - Fk_3 - Fc_3 - Fk_0 = M_1 \ddot{X}_1$$

$$-k_1(x_1 + \theta l_1) - c_1(\dot{x}_1 + \dot{\theta} l_1) - k_2(x_1 - \theta l_2) - c_2(\dot{x}_1 - \dot{\theta} l_2) - k_3(x_1 - x_2) - c_3(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - k_0(x_1 - y) = M_1 \ddot{X}_1$$

$$M_1 \ddot{X}_1 + (c_1 + c_2 + c_3)\dot{x}_1 + (k_1 + k_2 + k_3 + k_0)x_1 + (k_1 l_1 - k_2 l_2 + k_3 b - k_0 a)\theta + (c_1 l_1 - c_2 l_2 + c_3 b)\dot{\theta} - k_3 x_2 - c_3 \dot{x}_2 = k_0 y \quad (3)$$

Persamaan gerak rotasi sistem utama

$$\sum M = J_1 \ddot{\theta}_1$$

$$-Fk_1 \cdot l_1 - Fc_1 \cdot l_1 + Fk_2 \cdot l_2 + Fc_2 \cdot l_2 - Fk_3 \cdot b - Fc_3 \cdot b + Fk_0 \cdot a = J_1 \ddot{\theta}_1$$

$$-(k_1(x_1 + \theta l_1))l_1 - (c_1(\dot{x}_1 + \dot{\theta} l_1))l_1 + (k_2(x_1 - \theta l_2))l_2 + (c_2(\dot{x}_1 - \dot{\theta} l_2))l_2 - (k_3(x_1 - x_2))b - (c_3(\dot{x}_1 - \dot{x}_2))b - (k_0(x_1 - y))a = J_1 \ddot{\theta}_1$$

$$J_1 \ddot{\theta}_1 + (c_1 l_1 - c_2 l_2 + c_3 b)\dot{x}_1 + (k_1 l_1 - k_2 l_2 - k_0 a + k_3 b)x_1 + (k_1 l_1^2 - k_2 l_2^2 + k_0 a^2 + k_3 b^2)\theta + (c_1 l_1^2 - c_2 l_2^2 + c_3 b^2)\dot{\theta} - k_3 b \cdot x_2 - c_3 b \cdot \dot{x}_2 = -k_0 y \cdot a \quad (4)$$

Persamaan gerak massa absorber

$$\sum F = M_2 \ddot{X}_2$$

$$Fk_3 + Fc_3 - Fk_{4eq} - Fc_4 = M_2 \ddot{X}_2$$

$$k_3(x_1 + \theta l_1) - k_3 x_2 + c_3(\dot{x}_1 + \dot{\theta} l_1) - c_3 \dot{x}_2 - k_{4eq}(x_2 - x_3) - \Gamma \cdot n \cdot V_p = M_2 \ddot{X}_2$$

$$M_2 \ddot{X}_2 - c_3 \dot{x}_1 + c_3 \dot{x}_2 - k_3 x_1 + (k_3 + k_{4eq})x_2 - k_{4eq}x_3 - k_3 \theta l_1 b - c_3 \dot{\theta} l_1 b + \Gamma \cdot n \cdot V_p = 0 \quad (5)$$

Persamaan gerak massa piezoelectric

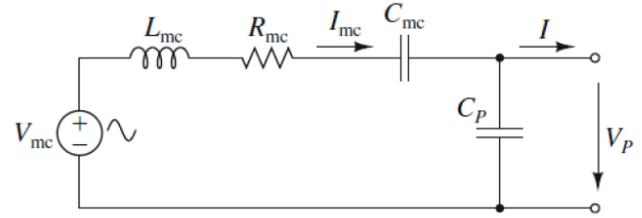
$$\sum F = M_{3eq} \ddot{X}_3$$

$$Fk_{4eq} + Fc_4 = M_{3eq} \ddot{X}_3$$

$$k_{4eq}(x_2 - x_3) + \Gamma \cdot n \cdot V_p = M_{3eq} \ddot{X}_3$$

$$M_{3eq} \ddot{X}_3 - k_{4eq}x_2 + k_{4eq}x_3 - \Gamma \cdot n \cdot V_p = 0 \quad (6)$$

Gambar 5 dibawah ini merupakan diagram sirkuit kelistrikan dari material piezoelectric. Material piezoelectric menghasilkan energi listrik apabila terjadi defleksi pada material tersebut. Energi listrik tersebut terdiri dari voltase, arus listrik, dan daya bangkitan.



Gambar 5. Diagram sirkuit elektromagnetik cantilever piezoelectri

$$V_p = \frac{3d_{31}E_p w_p t}{4c} x_p \quad (7)$$

- $V_p$  : Voltase bangkitan piezoelectric (volt)
- $d_{31}$  : Voltage constant (C/N)
- $E_p$  : Modulus elastisitas (N/m<sup>2</sup>)
- $w_p$  : Lebar piezoelectric (m)
- $t$  : Tebal piezoelectric (m)
- $c$  : Piezoelectric capacitance (Farad)
- $x_p$  : Defleksi piezoelectric (m)

Sedangkan arus bangkitan dari piezoelectric-nya dirumuskan sebagai berikut

$$V_{mc} = L_{mc} \frac{dI_{mc}}{dt} + R_{mc} I_{mc} + \frac{1}{C_{mc}} \int I_{mc} dt + V_p \quad (8)$$

$$I_{mc} = \frac{1}{L_{mc}} (V_{mc} - R_{mc} I_{mc} - \frac{1}{C_{mc}} \int I_{mc} dt - V_p) \quad (9)$$

Dimana

$$V_{mc} = \frac{F_i}{\Gamma} L_{mc} = \frac{M}{\Gamma^2} R_{mc} = \frac{d_p}{\Gamma^2} \quad C_{mc} = \frac{\Gamma^2}{k_p} \quad (10)$$

Dimana :

- $F_i$  : Gaya lendutan dari eksitasi (N)
- $M$  : Massa (kg)
- $d_p$  : Konstanta damping ekuivalen piezoelectric (Ns/m)
- $k_p$  : Konstanta pegas ekuivalen piezoelectric (N/m)
- $C_p$  : Kapasitansi piezoelectric (Farad)

Sehingga daya bangkitan piezoelectric dapat dirumuskan menjadi :

$$P = V_p I_{mc} \quad (11)$$

Dimana :

- $P$  : Daya bangkitan piezoelectric (Watt)
- $I_{mc}$  : Arus bangkitan piezoelectric (Ampere)

Parameter-parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut

Tabel 1. Parameter Sistem Utama			
Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Massa Sistem Utama	$M_1$	5	Kg
Koefisien Pegas (ekuivalen)	$K_1$	3561.6	N/m
Koefisien Pegas (ekuivalen)	$K_2$	3561.6	N/m
Koefisien Pegas Exciter	$K_0$	152.2	N/m
Koefisien Redaman	$C_1$	3.8	N.s/m
Batang Pengarah			

Tabel 2.

Parameter Cantilever Piezoelectric Vibration Absorber (CPVA)			
Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Massa Absorber	$M_{abs}$	0.67; 0.82; 0.97	Kg
Koefisien Pegas Absorber	$K_3$	805; 1092.5; 1380	N/m
Koefisien Redaman Batang Absorber	$C_1$	2	N.s/m

Tabel 3.

Parameter Material Piezoelectric			
Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Massa Piezoelectric	$M_{pzt}$	$3 \times 10^{-4}$	Kg
Ketebalan Piezoelectric	$t$	$1 \times 10^{-3}$	m
Lebar Piezoelectric	$w_{pzt}$	$6 \times 10^{-3}$	m
Panjang Piezoelectric	$L_{pzt}$	$17.8 \times 10^{-3}$	m
Kapasitansi	$C_{pzt}$	$244 \times 10^{-12}$	F
Konstanta regangan Piezoelectric	$d_{31}$	$110 \times 10^{-12}$	C/N
Electromechanical coupling factor	$k_{31}$	12	%
Konstanta pegas piezoelectric	$k_{pzt}$	$5.75 \times 10^{-1}$	N/m
Modulus Young	$E$	$3 \times 10^{-9}$	$N/m^2$

Nilai parameter didapatkan dari pengukuran atau pengujian alat yang sudah melalui proses manufacturing. Dari simulasi didapatkan respon perpindahan sistem utama dan energi bangkitan dari CPVA.

### III. HASIL DAN ANALISA

#### A. Pemodelan Sistem Utama Tanpa CPVA

Berdasarkan perhitungan dan simulasi yang telah dilakukan, didapat frekuensi natural sistem utama tanpa CPVA pada tabel 4 dibawah ini. Berdasarkan tabel 4, pergeseran sumber getar dapat menggeser besarnya frekuensi natural dari sistem utama tanpa CPVA

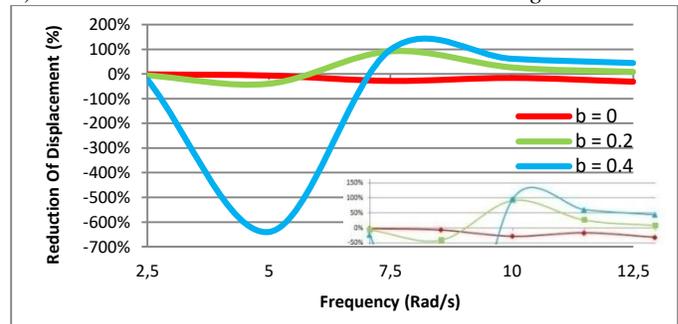
Tabel 4.

	Frekuensi Natural Sistem Tanpa CPVA		
	Frek Natural Tanpa CPVA (Rad/s)		
	a = 0 m	a = 0.2 m	a = 0.4 m
$\omega_{n1}$	38,14	7,56	15,1
$\omega_{n2}$	-	38,16	38,2

#### B. Pemodelan Sistem Utama dengan CPVA (Jumlah Piezoelectric Tetap)

Pemodelan yang dilakukan menggunakan tiga macam variasi, yaitu variasi kecepatan putar motor, pergeseran letak CPVA, dan jumlah piezoelectric. Kecepatan putar motor yang digunakan dari frekuensi 2.5 rad/s sampai 50 rad/s dengan variasi 2.5 rad/s. Sedangkan pergeseran CPVA diletakkan pada pusat massa, digeser sejauh 0.2 m dan 0.4 m dari pusat massa. Dan jumlah piezoelectric yang digunakan sebanyak 1400, 1900, dan 2400 buah.

#### 1) Analisa Reduksi Translasi Sistem Utama dengan CPVA

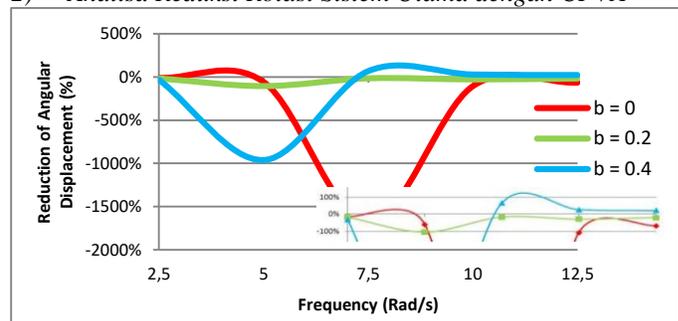


Gambar 6. Grafik Persentase Reduksi Perpindahan Sistem Utama dengan CPVA

Gambar 6 diatas merupakan grafik persentase reduksi perpindahan sistem utama dengan CPVA. Simulasi dilakukan dengan variasi frekuensi yang berada di daerah frekuensi natural pertama tanpa CPVA yaitu sebesar 7.56 rad/s dan variasi peletakkan CPVA yang diletakkan di pusat massa, digeser sejauh 0.2 dan 0.4 m dari pusat massa, dan piezoelectric sebanyak 1400 buah.

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin jauh pergeseran letak CPVA terhadap pusat massa maka persentase reduksi yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena frekuensi natural baru yang terbentuk saat CPVA digeser menjauhi pusat massa, maka semakin jauh bergeser dari frekuensi natural saat sistem belum diberi CPVA.

#### 2) Analisa Reduksi Rotasi Sistem Utama dengan CPVA



Gambar 7. Grafik Persentase Reduksi Perpindahan Sistem Utama dengan CPVA

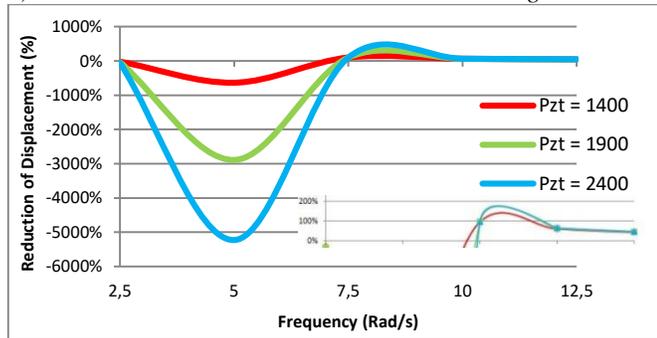
Gambar 7 diatas merupakan grafik persentase reduksi perpindahan sistem utama dengan CPVA. Simulasi dilakukan dengan variasi frekuensi yang berada di daerah frekuensi natural pertama tanpa CPVA yaitu sebesar 7.56 rad/s dan variasi peletakkan CPVA yang diletakkan di pusat massa, digeser sejauh 0.2 dan 0.4 m dari pusat massa, dan piezoelectric sebanyak 1400 buah.

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin jauh pergeseran letak CPVA terhadap pusat massa maka persentase reduksi yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena frekuensi natural baru yang terbentuk saat CPVA digeser menjauhi pusat massa, maka semakin jauh bergeser dari frekuensi natural saat sistem belum diberi CPVA.

C. *Pemodelan Sistem Utama dengan CPVA (Posisi CPVA Tetap)*

Pemodelan yang dilakukan menggunakan tiga macam variasi, yaitu variasi kecepatan putar motor, pergeseran letak CPVA, dan jumlah *piezoelectric*. Kecepatan putar motor yang digunakan dari frekuensi 2.5 rad/s sampai 50 rad/s dengan variasi 2.5 rad/s. Sedangkan pergeseran CPVA diletakkan pada pusat massa, digeser sejauh 0.2 m dan 0.4 m dari pusat massa. Dan jumlah *piezoelectric* yang digunakan sebanyak 1400, 1900, dan 2400 buah.

1) *Analisa Reduksi Translasi Sistem Utama dengan CPVA*

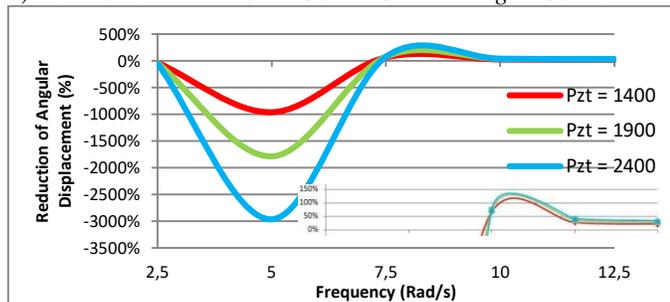


Gambar 8. Grafik Persentase Reduksi Perpindahan Sistem Utama dengan CPVA

Gambar 8 diatas merupakan grafik persentase reduksi perpindahan sistem utama dengan CPVA. Simulasi dilakukan dengan variasi frekuensi yang berada di daerah frekuensi natural pertama tanpa CPVA yaitu sebesar 7.56 rad/s dan variasi jumlah *piezoelectric* sebanyak 1400, 1900, dan 2400 buah, dan CPVA diletakkan sejauh 0.2 m dari pusat massa.

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah *piezoelectric* maka persentase reduksi yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena *piezoelectric* merupakan DVA kedua yang disusun secara seri pada mekanisme CPVA yang membuat kinerja dari DVA pertama menjadi kurang efektif.

2) *Analisa Reduksi Rotasi Sistem Utama dengan CPVA*

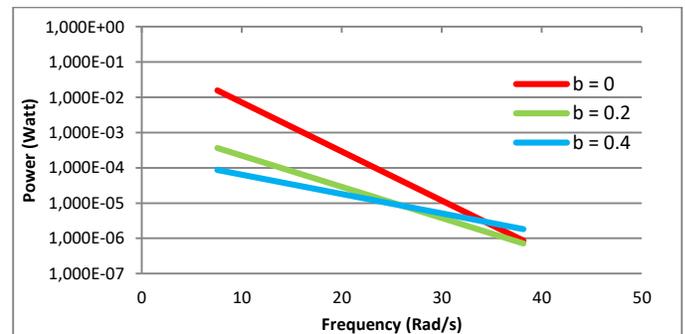


Gambar 9. Grafik Persentase Reduksi Perpindahan Sistem Utama dengan CPVA

Gambar 9 diatas merupakan grafik persentase reduksi perpindahan sistem utama dengan CPVA. Simulasi dilakukan dengan variasi frekuensi yang berada di daerah frekuensi natural pertama tanpa CPVA yaitu sebesar 7.56 rad/s dan variasi jumlah *piezoelectric* sebanyak 1400, 1900, dan 2400 buah, dan CPVA diletakkan sejauh 0.2 m dari pusat massa.

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah *piezoelectric* maka persentase reduksi yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena *piezoelectric* merupakan DVA kedua yang disusun secara seri pada mekanisme CPVA yang membuat kinerja dari DVA pertama menjadi kurang efektif.

D. *Analisa Energi Bangkitan (Jumlah Piezoelectric Tetap)*

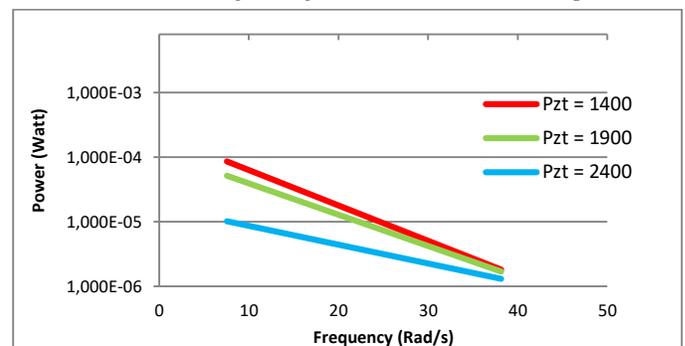


Gambar 10. Grafik Daya Bangkitan dengan Variasi Frekuensi dan Posisi CPVA

Gambar 10 diatas merupakan grafik daya bangkitan dengan menggunakan variasi kecepatan putar motor, pergeseran letak CPVA, dan jumlah *piezoelectric*. Kecepatan putar motor yang digunakan dari frekuensi 7.56 rad/s sampai 38.16 rad/s dengan variasi 2.5 rad/s. Sedangkan pergeseran CPVA diletakkan pada pusat massa, digeser sejauh 0.2 m dan 0.4 m dari pusat massa. Dan jumlah *piezoelectric* yang digunakan sebanyak 1400.

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada saat CPVA diletakkan pada pusat massa memiliki daya bangkitan yang lebih tinggi dibanding dengan yang lainnya pada frekuensi natural pertamanya, hal ini disebabkan karena frekuensi natural baru yang terbentuk nilainya sama dan menghasilkan displacement yang lebih besar, sehingga menghasilkan energi listrik yang besar, namun tidak direkomendasikan CPVA diletakkan dipusat massa karena tidak menghasilkan reduksi, hal ini disebabkan karena RMS displacement setelah diberi CPVA lebih tinggi dibandingkan saat belum diberi CPVA, selain itu juga dapat menyebabkan kerusakan pada *piezoelectric* karena defleksi yang sangat tinggi.

E. *3.5 Analisa Energi Bangkitan (Posisi CPVA Tetap)*



Gambar 11. Grafik Daya Bangkitan dengan variasi Frekuensi dan Jumlah Piezoelectric

Gambar 11 diatas merupakan grafik daya bangkitan dengan menggunakan variasi kecepatan putar motor, pergeseran letak CPVA, dan jumlah *piezoelectric*. Kecepatan putar motor yang digunakan dari frekuensi 7.56 rad/s sampai 38.16 rad/s.

Sedangkan jumlah *piezoelectric* yang digunakan sebanyak 1400, 1900 dan 2400 buah, dan pergeseran CPVA diletakkan digeser sejauh 0.2 m dari pusat massa.

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada pemakaian *piezoelectric* sebanyak 2400 buah menghasilkan RMS perpindahan yang paling kecil dibandingkan dengan yang lainnya pada frekuensi natural pertama dan kedua sistem utama tanpa CPVA, hal ini disebabkan karena RMS perpindahan yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan yang lainnya karena efek pergeseran frekuensi natural baru yang terbentuk dan efek pemakaian *piezoelectric* yang semakin banyak menyebabkan kinerja DVA terganggu.

#### IV. KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan maka diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Telah dirancang sistem utama sebagai sumber getar dengan dimensi 50x50x80cm.
2. Telah dirancang *Cantilever Piezoelectric Vibration absorber* (CPVA) dengan dimensi 22x21x30 cm yang mampu menampung 1760 buah *Piezoelectric*.
3. Didapatkan bahwa semakin jauh pergeseran posisi sumber getar terhadap pusat massa maka frekuensi natural pertama yang terbentuk akan semakin besar, namun semakin rendah RMS perpindahannya.
4. Didapatkan bahwa semakin jauh pergeseran letak CPVA terhadap pusat massa, maka frekuensi natural pertama, dan RMS perpindahan yang terbentuk akan kecil.
5. Didapatkan bahwa semakin jauh peletakkan CPVA, maka persentase reduksi respon yang dihasilkan pada daerah yang mendekati frekuensi natural pertama sistem utama tanpa CPVA akan semakin tinggi.
6. Semakin banyak *piezoelectric* yang digunakan, maka respon perpindahan yang dihasilkan akan semakin tinggi.
7. Daya bangkitan yang direkomendasikan dan terbesar yang mampu dihasilkan oleh CPVA sebesar 1.483E-03 volt dengan reduksi sebesar 95.37% yaitu saat CPVA diletakkan sejauh 0.4 m dari pusat massa dengan *piezoelectric* berjumlah 1400 buah.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. B. Pachpute, A. Z. and Bawa, "Optimum Design of Damped Dynamic Vibration Absorber - A Simulation Approach," 2016.
- [2] A. Lostari, "Studi Perbandingan pengaruh Penambahan SDVA dan DDVA Tersusun Seri Terhadap Respon Getaran Translasi Sistem Utama," 2015.
- [3] W. R. Efendy, "Pemodelan Dan Analisa Reduksi Respon Getaran Translasi Pada Sistem Utama Dan Energi Listrik Yang Dihasilkan Oleh Mekanisme Dynamic Vibration Absorber Metode Cantilever Piezoelectric (CPVA)," 2016.
- [4] R. . Hibbeler, *Engineering Mechanics Dynamic*. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2010.
- [5] M. M. Rafei, "Experimental study of optimum piezoelectric energy harvester circuit under various excitations.," 2016.
- [6] Z. W. Firdaus, "Pemodelan dan Analisa Energi Listrik yang Dihasilkan Mekanisme Ocean Wave Energy Harvester Tipe Pelampung Bola Mnggunakan Metode Cantilever Piezoelectric," 2015.