

Perancangan Sistem Peredam Getaran Pada Muatan Roket RX 420 LAPAN

Agus Budi Djatmiko¹, Fauzhia Rahmasari^{2, *}, Wely Pasadena³, Aji Digdoyo⁴, Hafidz Fath Arrazak⁵

^{1, 3}Peneliti Pusat Riset Teknologi Roket BRIN, Jl. Raya Lapan No. 2 Mekarsari, Rumpin, Bogor, Indonesia

^{2, 4, 5}Fakultas Teknologi Industri Universitas Jayabaya, Jl. Raya Bogor Km. 28,8 Cimanggis, Jakarta Timur, Indonesia

*) Corresponding author: fauzhiarahmasari@gmail.com

Abstract

Rocket while flying experiences acceleration of either linear and also angular one. Acceleration happened can generate internal and external force which may cause un-balance and vibration at the rocket. Arising vibration may cause damage at electronic equipments, so that is rocket need to be tested to what extent equipments of the electronic can receive vibration. Based on experience during the roll-out of rocket, equipment GPS (Global of Positioning System) was found out to experience some disturbance as the rocket suffered acceleration, so that difficult to trace existence of the rocket. To alleviate a vibrating damper systems is design at equipment GPS rocket RX 420 LAPAN capable to receive vibration up to 8 gravity. Result of scheme with comparison two successive amplitudes of $X_1/X_2 = 1/0,85$, inertia of spiral spring $k = 80000$ N/m and mass GPS $m = 0,5$ kg, which gives the damping coefficient $c = 1,695$ N/m/second and resonance amplitude $X = 17$ cm.

Abstrak

Roket yang sedang terbang pada roket tersebut mengalami percepatan baik linier maupun anguler. Percepatan yang terjadi dapat menimbulkan gaya dalam dan gaya luar yang dapat menyebabkan ketidakseimbangan dan getaran pada roket tersebut. Getaran yang timbul dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan elektronik, sehingga didalam perancangan sebuah roket perlu diuji sampai sejauh mana peralatan elektronik tersebut mampu menerima getaran. Berdasarkan pengalaman selama ini pada saat peluncuran roket, alat GPS (Global of Positioning System) yang terdapat pada muatan roket mengalami gangguan pada saat roket mengalami G-force sebesar 8 gravitasi bumi, sehingga sulit untuk melacak keberadaan roket tersebut. Untuk itu dirancang sebuah sistem peredam getaran pada alat GPS roket RX 420 LAPAN yang mampu menerima getaran sampai dengan 8 kali gravitasi bumi. Hasil perancangan dengan perbandingan dua amplitudo berurutan $X_1 / X_2 = 1 / 0,85$, kekakuan pegas $k = 8000$ N/m dan massa GPS $m = 0,5$ kg, maka didapat nilai koefisien redaman $c = 1,695$ N/m/detik dan amplitudo resonansi $X = 17$ cm.

Kata kunci : koefisien getaran, sistem peredam getaran, gravitasi bumi

PENDAHULUAN

Keberhasilan peluncuran sebuah roket ditentukan banyak faktor diantaranya adalah struktur, aerodinamika, statik stabilitas, propulsi dan tak kalah pentingnya adalah pembahasan tentang sistem getaran yang terjadi pada muatan roket.

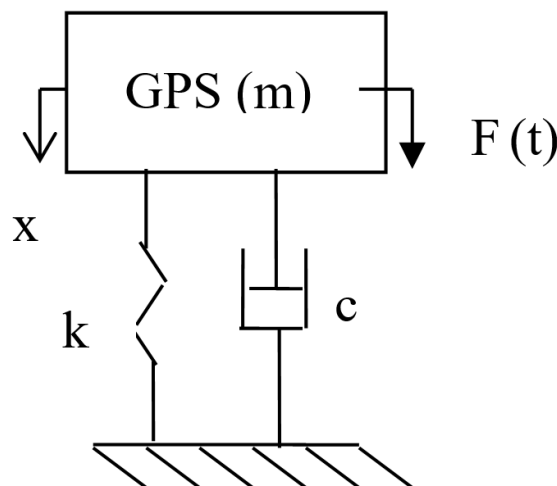
Roket yang sedang terbang mengalami gaya pengganggu, antara lain akibat gaya dorong roket, gaya aerodinamis dan gaya luar yang bekerja pada roket. Gaya-gaya tersebut dapat menyebabkan ketidakstabilan dan getaran pada roket. Akibat getaran yang ditimbulkan dapat menyebabkan kerusakan atau tidak bekerjanya peralatan eletronik pada roket. Berdasarkan pengalaman selama ini pada saat peluncuran roket, alat GPS (*Global Positioning System*) yang terdapat pada muatan roket mengalami gangguan pada saat roket mengalami G-force sebesar 10 gravitasi bumi sehingga sulit untuk melacak keberadaan roket tersebut [1].

Bila suatu sistem dipengaruhi oleh eksitasi harmonik paksa, maka respons getarannya akan berlangsung pada frekuensi yang sama dengan frekuensi eksitasi/perangsangnya. Sumber eksitasi pada roket adalah gaya luar atau dalam yang bekerja pada roket. Eksitasi ini mungkin tidak diinginkan oleh roket karena dapat mengganggu kerja dari peralatan elektronika pada muatan roket bila terjadi amplitudo getaran yang besar. Dalam banyak hal, resonansi harus dihindari dan untuk mencegah berkembangnya amplitudo yang besar maka seringkali digunakan peredam (*dampers*) dan penyerap (*absobers*). Untuk itu dirancang suatu alat peredam getaran pada sistem peralatan elektronik yang ada pada muatan roket. Peralatan terdiri dari pegas dan *dampers* yang disusun sedemikian rupa sehingga efek redaman terhadap getaran terjadi [2][3].

Tujuan dari perancangan sistem peredam getaran ini adalah untuk meningkatkan kemampuan peralatan elektronik pada muatan roket menerima getaran secara maksimal. Dalam tulisan ini dibahas mengenai rancangan sistem peredam getaran pada roket RX 420.

METODE PENELITIAN

Suatu sistem teknik yang terdiri dari massa dan elastisitas cenderung untuk bergetar. Untuk mengurangi efek getaran, dilakukan suatu pendekatan yaitu studi lengkap terhadap persamaan gerakan sistem yang ditinjau. Mula-mula sistem diidealisasikan dan disederhanakan dengan terminologi massa, pegas dan *dashpot* berturut-turut menyatakan benda elastisitas dan gesekan sistem, kemudian persamaan gerakan menyatakan perpindahan sebagai fungsi waktu atau akan memberikan jarak kedudukan massa sesaat selama gerakannya dan kedudukan keseimbangannya [4]. Sistem peredam getaran pada muatan roket RX 420 LAPAN dapat diidealisasikan seperti pada Gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Model Sistem Peredam Getaran Muatan Roket RX 420 LAPAN

dimana:

- m = massa GPS (kg)
- k = konstanta pemegasan (N/m)
- c = koefisien peredaman N/m/detik
- F(t) = gaya eksitasi (N)

Persamaan gerak model sistem peredam getaran pada Gambar 1 adalah [5]:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0(t) \tag{1}$$

dimana

- $m\ddot{x}$ = gaya akibat percepatan
- $c\dot{x}$ = gaya redaman
- kx = gaya pemegasan
- x = defleksi dari kedudukan awal

Penyelesaian persamaan adalah $F(t) = 0$ dimana persamaan akan memberi pengertian tentang peranan redaman. Dengan persamaan homogen adalah [5]:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \tag{2}$$

solusi dalam bentuk $x = e^{st}$ dan dengan memasukan persamaan (2) di atas menjadi [6][7]:

$$e^{st}(ms^2 + cs + k) = 0 \text{ atau } ms^2 + cs + k = 0$$

sehingga menjadi

$$s_{1,2} = \frac{-c \pm \sqrt{c^2 - 4mk}}{2m} = -\frac{c}{2m} \pm \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{k}{m}} \tag{3}$$

Solusi umum diberikan oleh persamaan yaitu [8]:

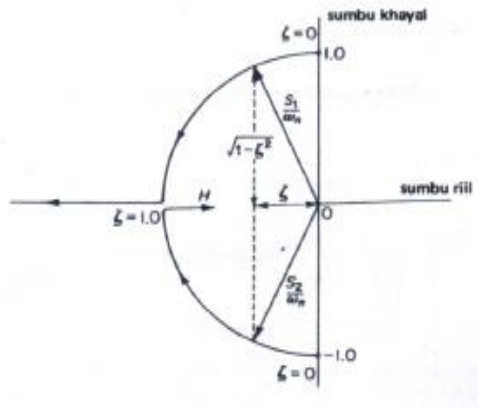
$$x = Ae^{s_1t} + Be^{s_2t} \tag{4}$$

Jika $\left(\frac{c}{2m}\right)^2 < \frac{k}{m}$, maka ekponen merupakan bilangan khayal dan sistem berosilasi karena,

$$e^{\pm\sqrt{k/m-(c/2m)^2}t} = \cos \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{c}{2m}\right)^2} t \pm i \sin \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{c}{2m}\right)^2} t \tag{5}$$

Sehingga diperoleh redaman kritis yaitu $c_c = 2\sqrt{km} = 2m\omega_n$ dan ratio redaman $\xi = \frac{c}{c_c}$ dan $\frac{c}{2m} = \xi\omega_n$, akar persamaan menjadi [8]:

$$s_{1,2} = \left(-\xi \pm \sqrt{\xi^2 - 1}\right) \omega_n = s_{1,2} = \left(-\xi \pm i\sqrt{1 - \xi^2}\right) \omega_n \tag{6}$$



Gambar 2. Keadaan Redaman

Gerak berosilasi jika $\xi < 1,0$ (keadaan kurang teredam) (lihat Gambar 2) sehingga persamaan getaran teredam adalah [9]:

$$x = e^{-\xi\omega_n t} (Ae^{i\sqrt{1-\xi^2}\omega_n t} + Be^{-i\sqrt{1-\xi^2}\omega_n t}) \quad (7)$$

Persamaan (7) dapat ditulis sebagai berikut [9]:

$$x = Xe^{-\xi\omega_n t} \sin(i\sqrt{1-\xi^2}\omega_n t + \phi) \quad (8)$$

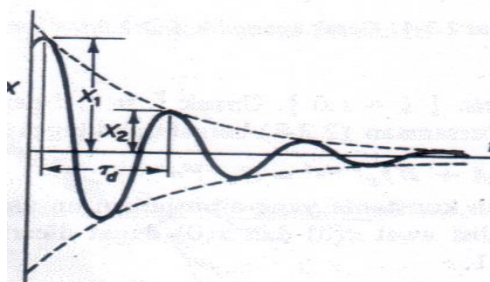
dan frekuensi getaran teredam adalah [10]:

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1-\xi^2} \quad (9)$$

Pengurangan Logaritmik

Pengurangan logaritmik didefinisikan sebagai logaritma natural dari ratio dua amplitudo yang berurutan:

$$\delta = \ln e^{\xi\omega_n t} \text{ atau } \delta = \frac{2\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \quad (10)$$



Gambar 3. Getaran teredam $\xi < 1,0$

Getaran yang tereksitasi

Dari diagram benda bebas persamaan diferensial gerak untuk sistem peredam getaran pada muatan roket RX 420 pada Gambar 1 didapatkan persamaan (1) dimana x adalah persamaan gerak

dari simpangan, $x = X \sin(\omega t - \phi)$ dan amplitudo getaran yaitu $X = -m\omega^2 X + c\omega X + kX = F_0$ atau $X\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2} = F_0$, sehingga diperoleh

$$X = \frac{F_0/k}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left(2\xi\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \quad (11)$$

Pengolahan Data

Dari data muatan roket RX 420 dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Data Muatan Roket RX 420 LAPAN

Spesifikasi	Besaran	Dimensi
Massa GPS	0,3	kg
Konstanta Pegas, k	8000	N/m
X ₁ / X ₂	1 / 0,85	-

dengan X₁/ X₂ yaitu perbandingan dua amplitudo berurutan

Menghitung Koefisien Redaman (c)

Frekuensi natural $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{8000}{0,5}} = 126,49$ rad/detik dan redaman kritis $c_c = 2m\omega_n = 2(0,3)(158) = 263,5$ kg/detik.

Menghitung Pengurangan Logaritmik (δ)

$$\delta = \ln \frac{x_1}{x_2} = \ln \frac{1}{0,85} = 0,162$$

Menghitung Faktor Redaman (ξ)

$$\delta = \frac{2\pi\xi}{\sqrt{1 - \xi^2}} = \delta^2(1 - \xi^2) = (2\pi\xi)^2 = 0,026244 - 0,027244\xi^2 = 39,4384\xi^2$$

sehingga diperoleh

$$\xi = 0,0268$$

Menghitung Frekuensi Natural Teredam

$$\omega_d = \omega_n\sqrt{1 - \xi^2} = 126,44 \text{ rad/detik}$$

Menghitung Koefisien Redaman (*c*)

$\xi = \frac{c}{c_c}$, maka didapat nilai koefisien redaman $c = c_c \xi = 63,24(0,0268) = 1,695$ N/m/detik

Menghitung Amplitudo Resonansi (*X*)

Dianggap roket bekerja pada kondisi G-force sebesar 8*g* dalam keadaan resonansi:

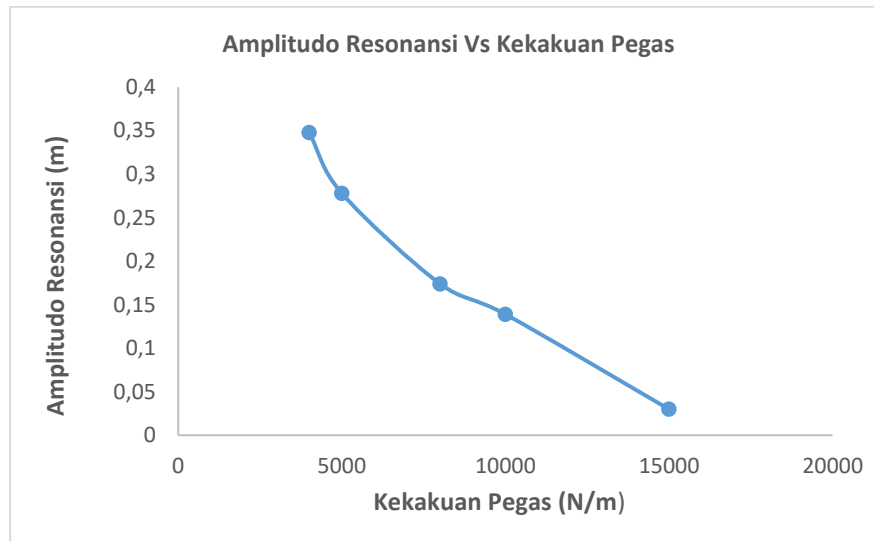
$$X = \frac{F_0/k}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left(2\xi \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}}$$

Keadaan resonansi $\omega = \omega_n$ dan besar gaya perangsang $F_0 = m \times A_g$ dimana $A_g = 8g = 78,4$ m/detik², $\xi = 0,0267$, $m = 0,5$ kg dan keadaan resonansi $\frac{\omega}{\omega_n} = 1$, $F_0 = 0,5 \times 78,4 = 39,2$ N, maka amplitudo resonansi yang terjadi pada alat GPS adalah $X = 0,1703$ m = 17 cm. Tabel 2 di bawah merupakan data hasil perancangan sistem peredam muatan RX 420 LAPAN.

Tabel 2. Data Hasil Perancangan Sistem Peredam Muatan RX 420 LAPAN

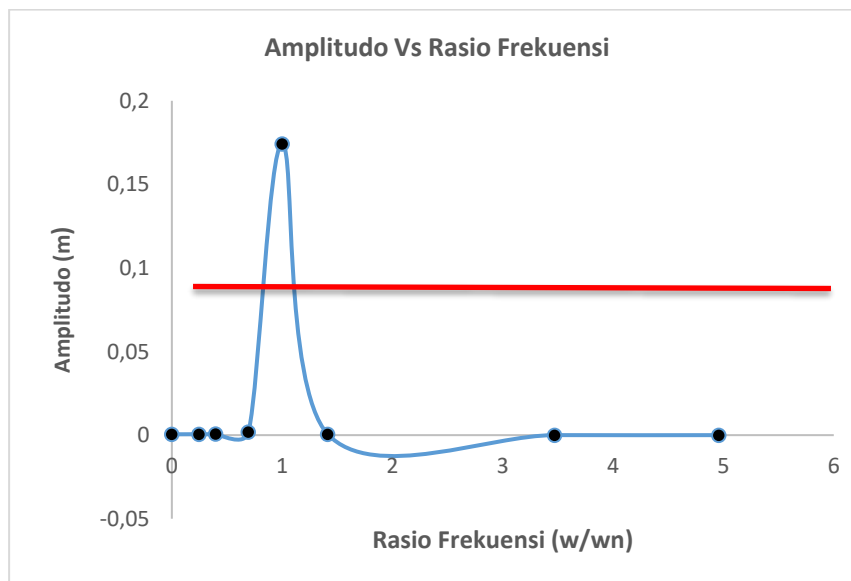
Spesifikasi	Besaran	Dimensi
Pengurangan logaritmik, δ	0,162	.-
Faktor Redaman, ξ	0,0268	-
Koefisien Redaman, <i>c</i>	1,695	N/m/deik
Amplitudo resonansi, <i>X</i>	3,6	cm
Frequensi natural, ω_n	126,49	rad/detik

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 4. Hubungan Antara Amplitudo Resonansi dengan Kekakuan Pegas

Dari Gambar 4 di atas menunjukkan hubungan antara kekakuan pegas k (N/m) terhadap amplitudo resonansi (X) dengan massa muatan yang sama yaitu $m = 0,5$ kg, terlihat dalam perancangan dengan $k = 8000$ N/m didapat besar amplitudo resonansi $X = 17$ cm dan makin besar kekakuan pegas k , maka makin kecil amplitudo resonansi yang terjadi.



Gambar 5. Hubungan Antara Amplitudo dengan Rasio Frekuensi

Dari Gambar 5 di atas menunjukkan hubungan antara amplitudo dengan rasio frekuensi pada sistem peredam getaran pada muatan roket RX 420, hasil peancangan didapat pada saat resonansi $\frac{\omega}{\omega_n} = 1$ didapat besar amplitudo resonansi $X = 17$ cm dan setelah resonansi amplitudo mengecil hingga mendekati nol, dapat dikatakan bahwa sistem peredam getaran pada muatan roket RX 420 berjalan dengan baik. Kemudian garis merah disini adalah alat stopper yang dipasang pada alat peredam yang gunanya untuk mencegah terjadinya amplitudo resonansi, dalam perancangan amplitudo yang dibatasi oleh stopper yaitu $X = 7,5$ cm.

KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan yang dilakukan, maka diambil beberapa kesimpulan dan saran sebagai berikut:

1. Dari hasil perancangan terhadap sistem peredam getaran muatan roket RX 420 LAPAN dengan perencanaan perbandingan dua amplitudo berurutan $X_1 / X_2 = 1 / 0,85$, kekakuan pegas $k = 8000 \text{ N/m}$ dan massa GPS diketahui sebesar $m = 0,5 \text{ kg}$, didapat nilai koefisien redaman $c = 1,695 \text{ N/m/detik}$. dan faktor redaman $\xi = 0,0268$ cukup baik krn $\xi < 1$
2. Dengan merancang resonansi yang terjadi pada saat roket mengalami percepatan sebesar $8g$ atau setara dengan $78,4 \text{ m /detik}^2$, dari hasil perhitungan didapat amplitudo resonansi yang terjadi pada GPS sebesar $X = 17 \text{ cm}$. Untuk menghindari amplitudo resonansi yang besar pada alat peredam getaran pada muatan roket dipasang stopper, dalam perancangan amplitudo yang dibatasi oleh stopper yaitu $X = 7,5 \text{ cm}$. sehingga alat peredam getaran pada muatan roket RX 420 LAPAN cukup aman.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Fakultas Teknologi Industri Universitas Jayabaya yang telah membantu dalam penyusunan makalah untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. S. Balaji, M. Leblouba, M. E. Rahman, and L. Hieng, "Static Lateral Stiffness of Wire Rope Isolators," *Mechanics Based Design of Structure and Machine*, vol. 44, pp. 462-475, 2016.
- [2] D. F. Ledezma-Ramirez, N. S. Ferguson, M. J. Brennan, "An Experimental Switchable Stiffness Device for Shock Isolation," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 331 no. 23, pp. 4987-5001, 2012.
- [3] P. S. Balaji, M. E. Rahaman, M. Leblouba, L. Hieng, "Vibration Isolation of Structures and Equipment Using Wire Rope Isolators," *International Journal of Modern Trend in Engineering and Research*, 2015.
- [4] G. Li and M. Gohnert, "Lever Mechanism for Vibration Isolation," *Peer-Reviewed & Open Access Journal Applied Technologies & Innovations*, vol. 1 no. 1, 2010.
- [5] L. Voss, T. Allais, S. King and J. Parkins, "Plans and Specifications of A Suborbital Rocket Payload," AKPV Engineering, University of Wyoming, 2009.
- [6] V. Puzyrov and J. Awrejcewicz, "On The Optimum Absorber Parameters Revising The Classical Results," *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, vol. 55 no. 3, pp. 1081-1089, 2017.
- [7] S. M. Zahrai and A. F. Rod, "Effect of Impact Damper on SDOF System Vibrations Under Harmonic and Impulsive Excitations," *Journal of Physics*, vol. 181, 2009.
- [8] P. N. Tengli, "A Study On Vibration Problems of Solid Propellant Rocket Motor," Thesis, Mechanical Engineering, PES Institute of technology, Bangalore, 2011.
- [9] W. T. Thomson, *Theory Of Vibration With Applications. 2nd Edition*, California: Prentice-Hall Inc., 1981.
- [10] M. J. Crocker, *Handbook of Noise and Vibration Control.*, New York: John Wiley & Sons, 2007.