

PENELITIAN TRANSMISIBILITAS ALAT PEREDAM GETARAN PADA MUATAN ROKET RX 550 LAPAN (RESEARCH TRANSMISSIBILITY OF VIBRATION DAMPERS EQUIPMENTS ON ROCKET RX 550 LAPAN)

Agus Budi Djatmiko

Pusat Teknologi Roket

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Jl. Raya LAPAN No.2 Mekarsari Rumpin Bogor 16350 Indonesia

e-mail : agusbudi60@gmail.com

Diterima 8 Desember 2016; Direvisi 17 Januari 2018; Disetujui 19 Januari 2018

ABSTRACT

Every single piece of structural engineering as well as the rocket payload, has its mass and elasticity, and also has the potential to cause vibration. In general, the occurrence of vibration in the engineering structure is not desirable. Therefore, to the extent possible the vibrations is arranged to be muted. Acceleration nuisance caused by the combustion process in rocket can cause vibrations with a large amplitude resulting in damage to the structure of the mutant rockets and electronic equipment that is in charge of the rocket could not work as intended, based on the experience of electronic equipment will be damaged if the acceleration bully at 10 g that work on the rocket is not reduced, it is designed for a vibration damping apparatus, equipment consisting of springs and dampers are arranged such that a damping effecton the vibration occurs.In this research used springs with stiffness $k = 120,000 \text{ N/m}$, damping factor $= 0.0503$ and mass of charge (m) $= 10.5 \text{ kg}$, with acceleration of 1 G and working frequency from 0 to 2000 Hz. Interest transmissibility research on tool vibration dampers is to determine the magnitude of the acceleration is transmitted to the rocket payload. The results of the dampening experiment, at the beginning of acceleration or G force transmitted to a rocket load of 1 g or $\text{TR} = 1$, but after passing a resonance or $\omega/\omega_n > 1,414$ obtained G force transmitted to a rocket payload of 0,1 g or $\text{TR} = 0.1$ (the silencer is good enough). From the results of this study can be said that the silencer can be used to reduce vibration on the rocket payload RX 550.

Keywords: *vibration damper, transmissibility, rocket payload*

ABSTRAK

Setiap struktur rekayasa seperti halnya pada muatan roket, mempunyai massa dan elastisitas, maka struktur tersebut mempunyai potensi untuk menimbulkan getaran. Pada umumnya terjadinya getaran pada struktur rekayasa adalah tidak diinginkan, oleh karena itu sedapat mungkin getaran tersebut diusahakan untuk diredam. Percepatan pengganggu yang ditimbulkan oleh proses pembakaran pada roket dapat menyebabkan getaran dengan amplitudo yang besar yang mengakibatkan kerusakan pada struktur mutan roket dan alat elektronik yang ada pada muatan roket sehingga tidak dapat bekerja seperti yang diinginkan. Berdasarkan pengalaman, alat elektronik akan mengalami kerusakan jika percepatan pengganggu sebesar 10 g yang bekerja pada roket tidak direduksi. Untuk itu dirancang suatu alat peredam getaran, peralatan tersebut terdiri dari pegas dan damper atau peredam yang disusun sedemikian rupa sehingga muncul efek redaman terhadap getaran. Pada penelitian ini digunakan pegas dengan kekakuan $k = 120.000 \text{ N/m}$, faktor redaman $\zeta = 0,0503$ dan massa muatan (m) = 10,5 kg, dengan percepatan sebesar 1 G dan frekuensi kerja dari 0 sampai dengan 2000 Hz. Tujuan penelitian transmisibilitas pada alat peredam getaran ini adalah untuk mengetahui besarnya percepatan yang ditransmisikan ke muatan roket. Hasil penelitian alat peredam, pada saat awal percepatan pengganggu atau G force yang ditransmisikan ke muatan roket sebesar 1 g atau TR = 1, tetapi setelah melewati resonansi atau $\omega/\omega_n > 1,414$ didapat G force yang ditransmisikan ke muatan roket sebesar 0,1 g atau TR = 0,1 (alat cukup baik). Dari hasil penelitian ini dapat dikatakan bahwa alat peredam dapat digunakan untuk meredam getaran pada muatan roket RX 550.

Kata kunci : *peredam getaran, transmisibilitas, muatan roket*

1 PENDAHULUAN

Latar belakang dari penulisan ini adalah untuk mengetahui karakteristik dari alat peredam yang terdiri dari faktor redaman, elastisitas dan transmisibilitas.

Pembuatan alat peredam muatan pada roket RX 550 adalah untuk mendukung keberhasilan peluncuran roket RX 550, dalam rangka menunjang program peroketan yang dikembangkan oleh Pusat Teknologi Roket, Deputi Teknologi Penerbangan dan Antariksa LAPAN. Pembahasan ini bertujuan agar alat peredam getaran pada muatan roket dapat meredam percepatan pengganggu atau G force tersebut, karena roket akan bergetar dengan amplitudo yang besar atau resonansi dan dapat menyebabkan kerusakan pada muatan roket. Salah satu pendekatannya yaitu melakukan studi lengkap terhadap persamaan gerakan sistem yang ditinjau. mula-mula sistem diidealisasikan dan disederhanakan dengan terminologi massa dan pegas yang berturut turut menyatakan benda dan elastisitas. Kemudian persamaan gerakan menyatakan sebagai fungsi

waktu atau akan memberikan jarak kedudukan massa sesaat selama gerakannya dan kedudukan keseimbangannya. (Liu dan Liu, 2004; Zahrai dan Rod, 2009; Puzyrov dan Awrejcewicz, 2017) Setiap benda yang mempunyai massa dan elastisitas mempunyai potensi untuk bergetar. Oleh karena itu setiap struktur rekayasa seperti halnya pada muatan roket mempunyai massa dan elastisitas, maka struktur tersebut mempunyai potensi untuk menimbulkan getaran. Untuk hal itu dalam getaran dipelajari gerakan osilasi dari suatu benda di sekitar posisi keseimbangannya.

Pada umumnya terjadinya getaran pada struktur rekayasa adalah tidak diinginkan, oleh karena itu sedapat mungkin getaran tersebut diusahakan untuk diredam (Sapinski, 2009; Liu dan Liu, 2004).

Berdasarkan pengalaman selama ini pada saat peluncuran roket, alat *Global Positioning System (GPS)* yang terdapat pada muatan roket mengalami gangguan pada saat roket mengalami G-

force sebesar 10 gravitasi bumi, sehingga sulit untuk melacak keberadaan roket tersebut (Adi dan kawan-kawan, 2012). Untuk itu dirancang sebuah alat untuk mengurangi efek G-force terhadap peralatan elektronik yang ada pada muatan roket. Peralatan terdiri dari pegas dan damper yang disusun sedemikian rupa sehingga efek redaman terhadap getaran terjadi.

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran transmisibilitas pada alat peredam getaran yang tujuannya adalah untuk mengetahui besarnya percepatan yang ditransmisikan ke muatan roket (Thomson, 1981; Tengli, 2011; Voss dan kawan-kawan, 2009).

2 LANDASAN TEORI

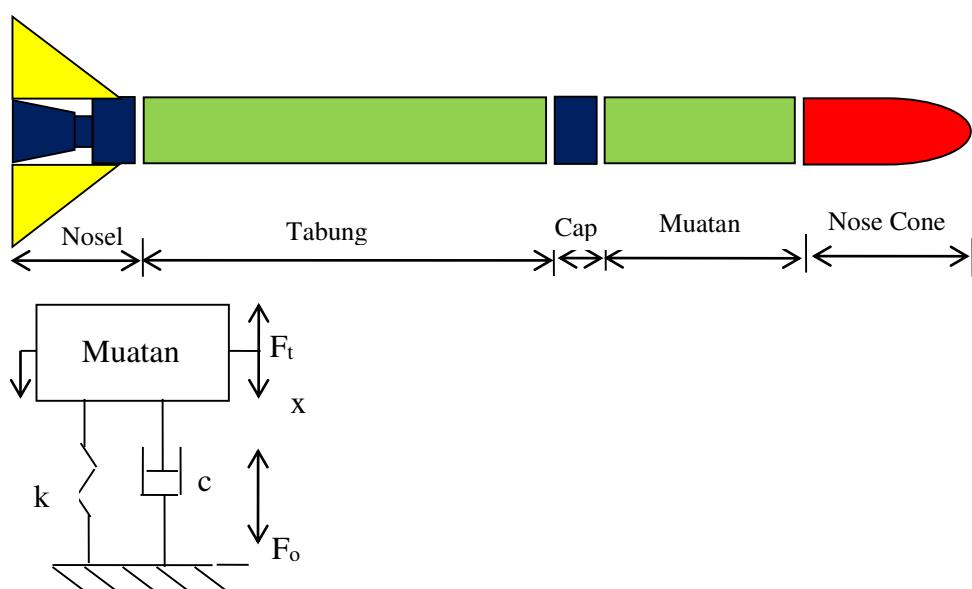
Gaya-gaya penggetaran yang ditimbulkan oleh sistem yang bergerak, seperti roket, seringkali tidak dapat dihindari, namun pengaruhnya terhadap sistem dinamik dapat berkurang banyak oleh adanya pegas dan peredam yang dirancang dengan tepat yang disebut sebagai isolator.

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. Kemudian dengan persamaan gerakannya diperoleh sifat-sifat penting sistem getarannya yaitu faktor redaman dan Transmisibilitas (Crocker, 2007. Voss dan kawan-kawan, 2009).

Sistem peredam getaran pada muatan roket RX 550-LAPAN dapat diidealisasikan sebagai berikut:

2.1 Persamaan Getaran Teredam

Untuk menganalisa suatu sistem getaran maka perlu diketahui terlebih dahulu persamaan gerak dari sistem getaran tersebut dan persamaan gerak sistem peredam getaran pada muatan RX 550 sebagai berikut:



Gambar 2-1: Model Sistem peredam getaran pada muatan roket RX 550

Dimana:

m adalah massa muatan (kg), k adalah konstanta pemegasan (N/m), c adalah koefisien peredaman N/m/detik, $F_o(t)$ adalah gaya eksitasi dari roket (N), $F_t(t)$ adalah gaya yang diteruskan kemuatan roket (N).

Persamaan gerak model sistem peredam getaran pada Gambar 2-1 adalah persamaan 1(Rao, 2007).

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_o(t) \quad (2-1)$$

Keterangan:

$m\ddot{x}$ = gaya inersia

$c\dot{x}$ = gaya redaman

kx = gaya pemegasan

x = defleksi dari kedudukan awal

Penyelesaian persamaan adalah $F_o(t) = 0$. dimana persamaan akan memberi pengertian tentang peranan redaman.

2.2 Transmisibilitas

Dari diagram benda bebas persamaan diferensial gerak untuk sistem peredam getaran pada muatan roket RX 550 (Gambar 2-1) memberikan persamaan (2-2).

$$-m\omega^2 X + c\omega X + kX = F_o \quad (2-2)$$

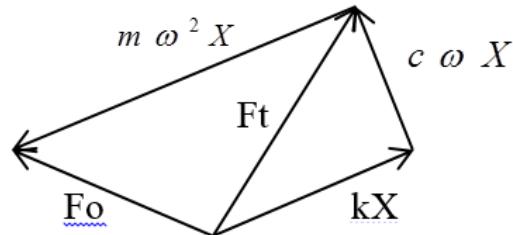
$$X \sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2} = F_o$$

$$X = \frac{F_o/k}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left(2\xi\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \quad (2-3)$$

Gaya yang diteruskan ke muatan melalui pegas dan peredam adalah persamaan (2-1), (2-2), dan (2-3).

$$F_t = \sqrt{(kX)^2 + (c\omega X)^2} \quad (2-4)$$

Gaya-gaya pada persamaan (2-2) dan (2-4) diatas dapat digambarkan dalam bentuk vektor sebagai berikut:



Gambar 2-2: Gaya pengganggu F_o yang diteruskan lewat pegas dan peredam

Berdasarkan Gambar 2-2 maka dapat dibuat persamaan sebagai berikut

$$\frac{F_t}{F_o} = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{c\omega}{k}\right)^2}}{\sqrt{\left[1 - \frac{m\omega^2}{k}\right]^2 + \left[\frac{c\omega}{k}\right]^2}} = TR \quad (2-5)$$

$$\frac{A_t}{A_o} = TR = \frac{\sqrt{1 + \left(2\xi\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\xi\frac{\omega}{\omega_n}\right]^2}}$$

Dimana :

F_o = gaya pengganggu dari roket dan,

F_t = gaya yang diteruskan ke muatan roket (GPS) (Thomson, 1981; Crocker, 2007).

Karena gaya pengganggu dan gaya transmisibilitas pada roket merupakan fungsi dari percepatan, maka dapat ditulis sebagai berikut :

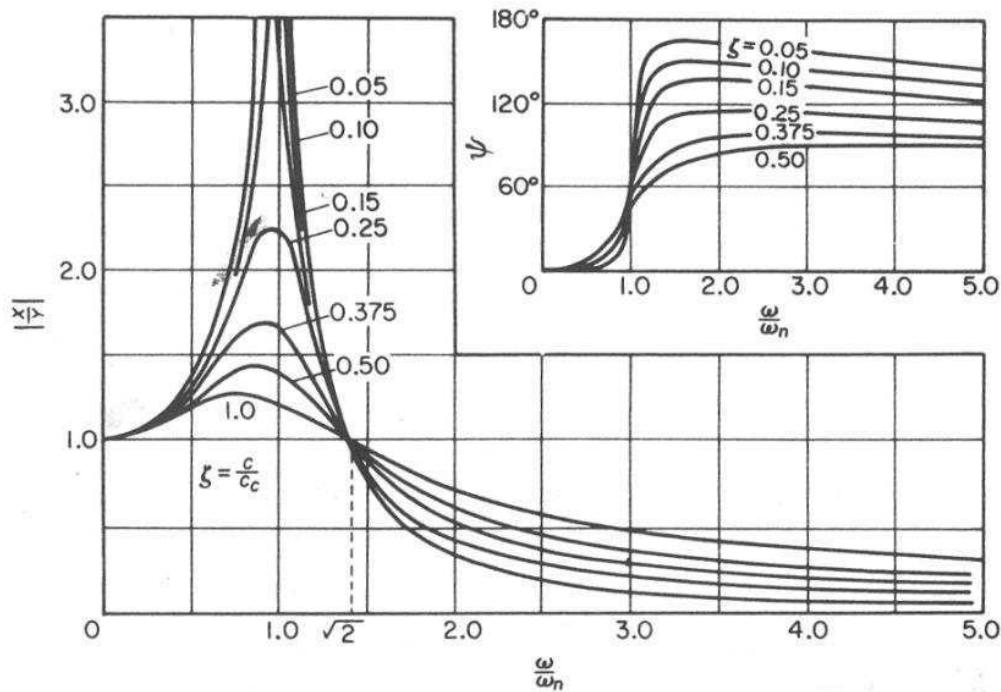
Perbandingan $\frac{A_t}{A_o} = \frac{F_t}{F_o}$ disebut sebagai

Transmisibilitas (TR) dimana:

A_o = percepatan pengganggu

A_t = Percepatan yang diteruskan ke GPS.

Hubungan antara transmisibilitas dengan ratio frekuensi terhadap faktor redaman dapat dijelaskan pada Gambar 2-3 (Crocker, 2007, Voss dan kawan-kawan, 2009).



Gambar 2-3 : Respon Frekuensi (Rao, 2007; Thomson, 1981; Voss dan kawan-kawan, 2009)

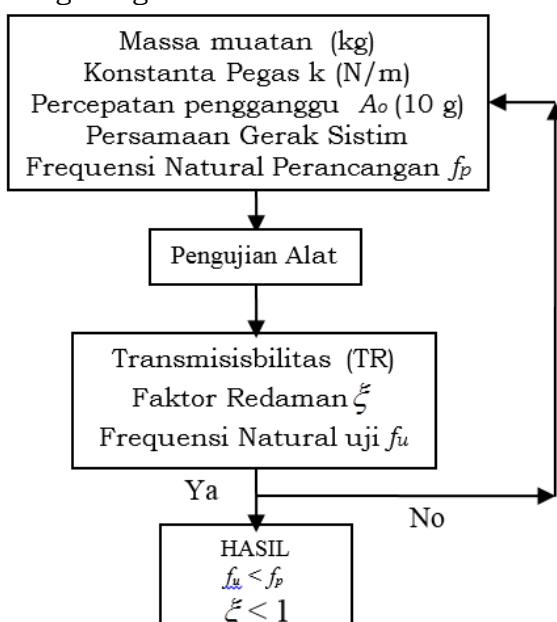
Dari grafik respon frekuensi Gambar 2-3, terlihat ratio amplitudo atau transmisibilitas di bawah nilai satu pada kondisi $(\omega/\omega_n) > \sqrt{2}$, dengan ini memantabkan kenyataan bahwa isolasi getaran hanya mungkin terjadi pada keadaan $(\omega/\omega_n) > \sqrt{2}$, didaerah $(\omega/\omega_n) > \sqrt{2}$ pegas tanpa redaman lebih baik dibanding dengan pegas dengan redaman untuk mengurangi transmisibilitas. (Thomson 1981; Crocker, 2007).

3 METODOLOGI

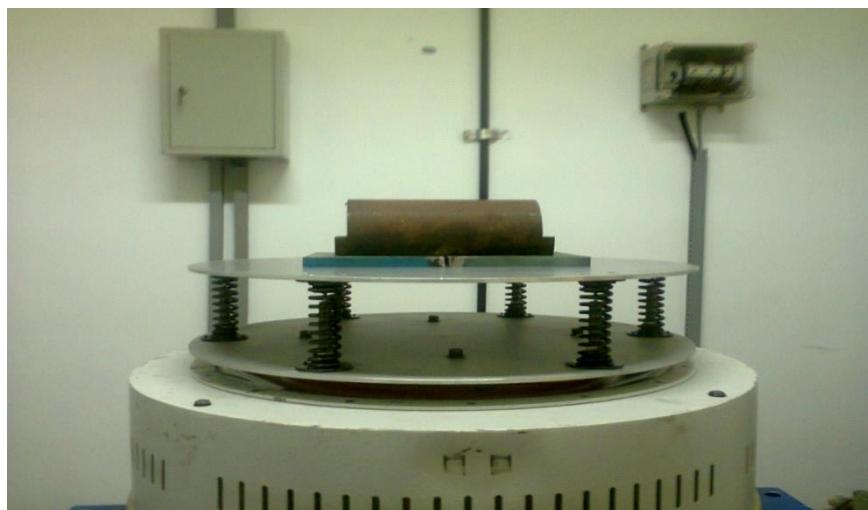
Penelitian dimulai dari desain alat, mencari data percepatan pengganggu faktor redaman, kemudian analisa persamaan gerak dari alat peredam getaran. Setelah itu menentukan besar konstanta pegas k (N/m) Setelah itu dicari persamaan transmisibilitas getaran untuk mengetahui besarnya percepatan yang ditransmisikan ke muatan roket, dan terakhir penelitian transmisibilitas alat peredam getaran

pada muatan roket RX 550 pada saat resonansi.

Penelitian dilakukan pada laboratorium Sentra Teknologi Polimer BPPT Kawasan PUSPIPTEK Serpong Tangerang.



Gambar 3-1: Diagram alir transmissibility alat peredam getaran

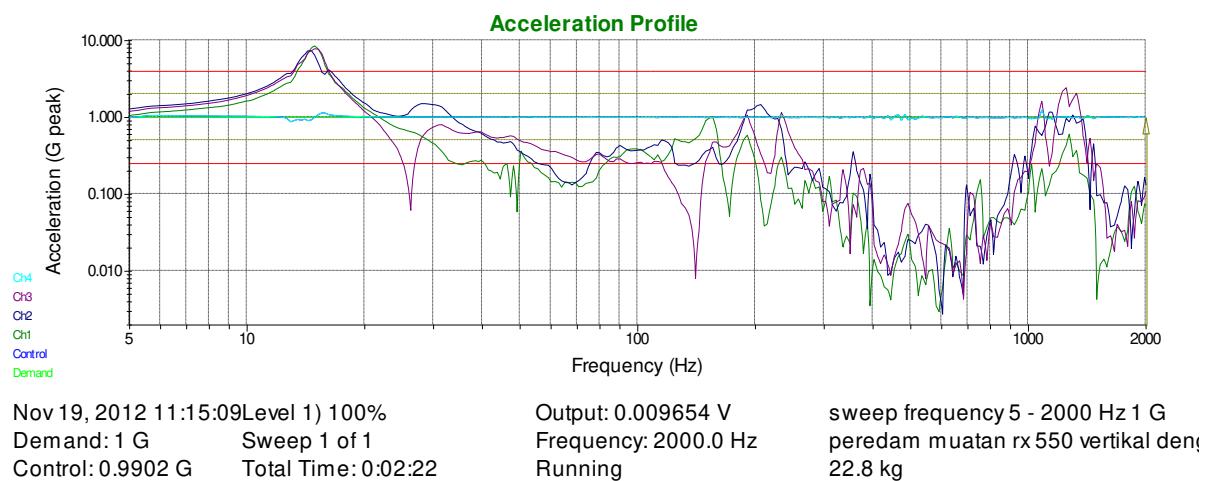


Gambar 3-2 : Alat peredam muatan roket RX 550 pada saat pengujian getaran (*vibration shaker*)

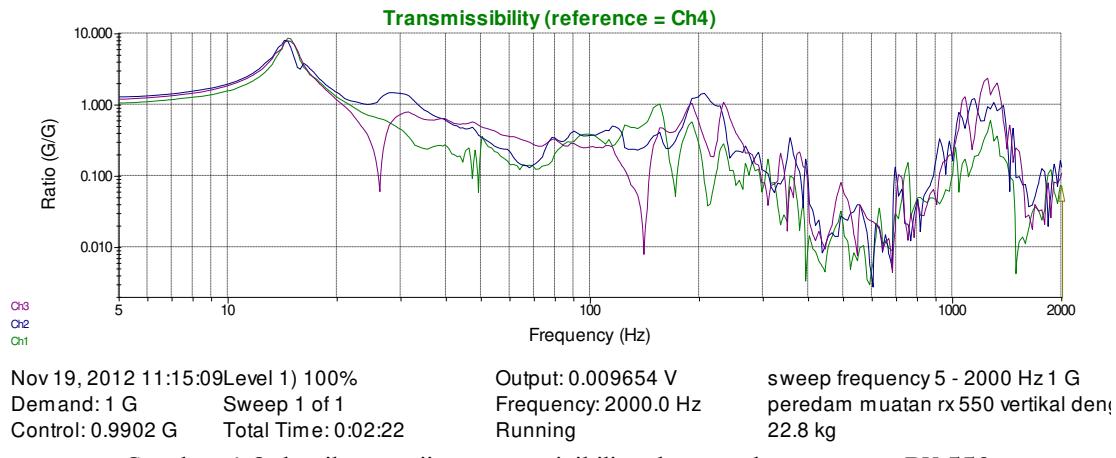


Gambar 3-3: Pemasangan alat peredam getaran muatan RX 550 pada alat uji getaran (*vibration shaker*)

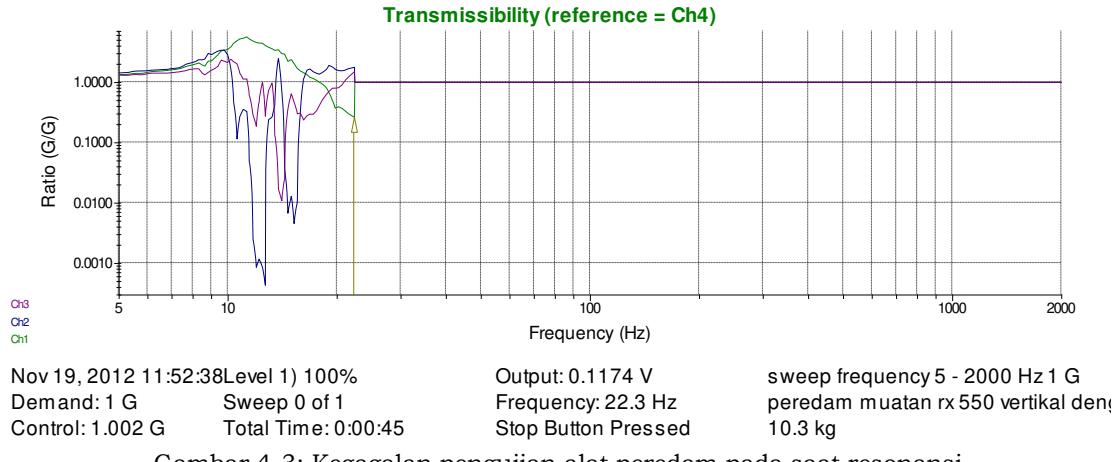
4 HASIL PENGUJIAN



Gambar 4-1: hasil pengujian frequensi natural terhadap alat peredam muatan RX 550



Gambar 4-2: hasil pengujian transmisibility alat peredam muatan RX 550



Gambar 4-3: Kegagalan pengujian alat peredam pada saat resonansi

4.1 Frekuensi Natural, ω_n

Hasil perancangan didapat

$$\text{Frekuensi natural } \omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{120000}{10,5}} = 106,9 \text{ rad/detik} \text{ dan } f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = 17,02 \text{ Hz}$$

Sementara hasil penelitian yaitu pada saat kondisi percepatan penganggu maksimum, didapat frekuensi natural $f_n = 16 \text{ Hz}$.

4.2 Faktor redaman (ξ)

Dari Gambar 4-2 (grafik transmisibilitas vs frekuensi) hasil pengujian didapat nilai transmisibilitas pada saat resonansi ($\omega = \omega_n$) yaitu $TR = 9,9$. Dengan menggunakan persamaan 2-5, maka didapat besarnya faktor redaman sebagai berikut:

$$TR = \frac{\sqrt{1 + (2\xi)^2}}{\sqrt{[2\xi]^2}}$$

dengan memasukan nilai TR hasil pengujian didapat $TR = 9,9$ (Gambar 4-2). Kemudian menguadratkan persamaan maka didapat besar faktor redaman $\xi = 0,05$, alat peredam getaran (damper) dapat digunakan, karena nilai faktor redaman $\xi < 1$.

5 HASIL DAN PEMBAHASAN AWAL

Alat peredam yang dirancang telah dilakukan pengujian di Balai Pengujian Teknologi Polimer Puspitek Serpong yang tujuannya untuk mencari karakteristik dinamik alat peredam yang meliputi, frekuensi natural, faktor redaman dan amplitudo beban kejut, hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4-2 dan Gambar 4-1, dengan pembahasan hasil sebagai berikut:

- Dari Gambar 4-1 di atas (grafik percepatan vs frekuensi) telah dilakukan pengujian frekuensi natural terhadap alat peredam getaran pada frekuensi pengujian 5 sampai dengan 2000 Hz (sesuai dengan rekomendasi dari NASA mengenai frekuensi kerja roket) (Voss dan kawan-kawan, 2009) dan percepatan pengganggu sebesar 1 g, kemudian beban muatan sebesar 10,5 kg.

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa frekuensi natural hasil pengukuran alat peredam getaran roket RX 550 LAPAN adalah sebesar $f_n = 16$ Hz yaitu pada saat grafik percepatan (*acceleration*) menunjukkan nilai tertinggi dan hasil perhitungan didapat frekuensi natural alat peredam muatan pada roket RX 550 yaitu $f_n = 17,02$ Hz, jadi penyimpangan hasil pengukuran dan perhitungan tidak terlalu jauh dengan tingkat kesalahan alat peredam sebesar $(17,02-16)/16 \times 100\% = 6,37\%$.

- Dari Gambar 4-2 (grafik transmisibilitas vs frekuensi), telah dilakukan pengujian transmissibility terhadap alat uji peredam getaran pada muatan roket RX 550 dengan frekuensi pengujian antara 5 s.d 2000 Hz dan percepatan pengganggu sebesar (*g force*) 1 g. Hasil pengujian transmissibility terhadap alat peredam muatan menunjukkan hasil yang bagus. Dapat dilihat disini pada frekuensi awal antara 5 Hz dimana TR = 1, sampai dengan frekuensi 16 Hz nilai transmissibility menunjukkan kenaikan dimana puncaknya pada saat frekuensi sama dengan frekuensi natural yaitu 16 HZ dengan nilai TR= $(G/G) = 9,9$ dan setelah itu grafik *transmissibility* menunjukkan penurunan setelah frekuensi natural, yang artinya peredaman berjalan baik sesuai dengan teori mengenai *transmissibility* (Gambar 2-3). Hal ini menunjukan bahwa alat peredam getaran yang dirancang berjalan dengan baik dan dapat digunakan sebagai peredam getaran pada roket RX 550 LAPAN.

Ratio $(G/G) = \text{transmissibility}$, dimana *transmissibility* adalah perbandingan antara percepatan yang diteruskan ke muatan dalam hal ini massa (m) terhadap percepatan pengganggu.

- Persamaan (2-1) diturunkan dari persamaan gerak dari model sistem alat peredam getaran (Gambar 2-1) kemudian dianggap sebagai gerak harmonik sederhana $x = X \sin(\omega t - \phi)$ lalu dimasukkan kedalam persamaan (2-1) sehingga mendapatkan persamaan (2-2) yaitu $-m\omega^2 X + c\omega X + kX = F_o$, kemudian diteruskan ke muatan roket melalui pegas dan peredam untuk mencari besar amplitudo yang terjadi dapat digunakan persamaan (2-3) dan untuk mengetahui besarnya gaya yang viskos digunakan persamaan (2-4).

Persamaan (2-2) dan (2-4) dapat digambarkan dalam bentuk vektor agar memudahkan dalam mempelajari masalah peredaman atau isolasi getaran seperti (Gambar 2-2) dan persamaan 2-5 menunjukkan perbandingan antara gaya yang diteruskan ke muatan (F_T) terhadap gaya pengganggu dari roket (F_o) atau disebut sebagai Trasmissibilitas (TR), karena percepatan merupakan fungsi dari gaya maka persamaan (2-5) dapat dituliskan sebagai perbandingan antara percepatan yang diteruskan ke muatan (A_T) terhadap percepatan pengganggu (A_o) atau *G force* dari roket.

- Hasil pengujian trasnmisibilitas (TR) terhadap alat peredam getaran RX 550 (Gambar 4-2) menunjukan hasil yang baik yaitu setelah resonansi nilai transmisibilitas menurun, hal ini sesuai dengan hasil perancangan alat peredam getaran. Pada kondisi resonasi $\omega = \omega_n$ didapat nilai transmisibilitas $TR = 9.9$ dan hasil perhitungan didapat besar faktor redaman $\xi = 0.05$ (Zahrai dan Rod, 2009; Sapinski, 2009).
- Hasil pengujian pada saat resonansi terhadap alat peredam getaran dengan

kekakuan pegas $k = 120.000 \text{ N/m}$ dan massa muatan (m) = 10.5 kg, didapat besarnya transmisibilitas $TR=9.99$, faktor redaman $\xi = 0.0503$, dan amplitudo $X = 8.38 \text{ mm}$ dan alat peredam tidak mengalami kerusakan.

- Hasil pengujian pada saat resonansi terhadap alat peredam getaran pada muatan roket RX 550 cukup baik, alat dapat meredam percepatan pengganggu (A_o) yang terjadi dapat dilihat pada (Gambar 4-1). Pada awalnya Percepatan yang diteruskan (A_t) naik kemudian setelah resonansi percepatan (A_t) mengecil. Hasil pengujian didapat frekuensi natural alat peredam getaran $f_n = 16 \text{ Hz}$ dan hasil perhitungan didapat besar frekuensi natural $f_n = 17,02 \text{ Hz}$.
- Dari hasil pengujian terhadap alat peredam getaran pada muatan roket RX 550 dapat dikatakan cukup memuaskan karena pada saat resonansi, alat peredam getaran dapat bekerja sesuai dengan yang diinginkan dan tidak mengalami kerusakan.

6 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian terhadap alat peredam getaran muatan roket RX 550, dapat dilihat dari grafik pengujian *transmissibility* (Gambar 4-2), alat dapat meredam getaran dengan baik setelah resonansi or $\omega/\omega_n > 1,414$ nilai $TR < 1$ sesuai dengan teori peredam getaran lihat Gambar 2-3.

Dengan alat peredam getaran ini, *G force* atau percepatan pengganggu dari roket sebesar 10 gravitasi bumi (10g), Setelah resonansi dapat diperkecil hingga $TR = 0,1$ artinya setelah resonansi percepatan pengganggu atau *G force* yang ditransmiskan pada muatan hanya sebesar 1 g.

Alat peredam muatan roket RX 550 terdiri dari pegas dan peredam viskos, sehingga kondisi resonansi pada alat peredam getaran tidak dapat dihindarkan

namun dapat dikurangi dengan memperbesar peredam viskos.

Perlu penelitian lebih lanjut agar alat peredam getaran pada muatan roket lebih baik dari yang ada sekarang dengan merubah transmissibilitas pada saat resonansi menjadi lebih lebih kecil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya penelitian ini saya sebagai penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Kepala Pusat Teknologi Roket LAPAN, Leader Struktur Kerekayasaan Roket Sonda LAPAN yang telah memberikan ijin dan data-data untuk penelitian ini dan tak lupa penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Prof. DR. Heri Wibowo atas bantuannya dalam menyelesaikan makalah ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Adi A.P., Wigati, dan Sutisno, 2012. *Sistem Peredam Vibrasi dan Shock Serta Perpindahan Panas Pada Payload Roket*. Prosiding Insinas 2012. ISBN 978-602-18926-2-6.
- Crocker M. J., 2007. *Handbook of Noise and Vibration Control*, John Wiley & Sons.
- Li and Gohnert M., 2010. *Lever Mechanism for Vibration Isolation*. Peer-reviewed & Open access journal ISSN: 1804-1191 | www.pieb.cz ATI – Applied Technologies & Innovations Volume 1 | Issue 1 | April 2010.
- Liu K. and Liu J., 2004. *The Damped Dynamic Vibration Absorbers: Revisited and New Result*. Journal of Sound and Vibration 284, 1181–1189.
- Puzyrov V., and Awrejcewicz J., 2017. *On the Optimum Absorber Parameters Revising the Classical Results*. Journal of Theoretical and Applied Mechanics 55, 3, 1081-1089, Warsaw DOI: 10.15632/jtam-pl.55.3.1081.
- Rao S.S., 2007. *Vibration of Continuous Systems*. Jhon Wiley & Sons Publishing Company, Published Online: 23 MAR 2007 Print ISBN: 9780471771715.
- Sapinski B., 2009. *Magnetorheological Dampers in Vibration Control of Mechanical Structures*. University of Science and Technology Krakow, Poland. journals.bg.agh.edu.pl/Mechanics/2009-01/mech04.pdf.

Tengli P.N., 2011. *A Study on Vibration Problems of Solid Propellant Rocket Motor.* Mechanical Engineering, PES Institute of Technology, Bangalore.

Thomson W.T., 1981. *Theory Of Vibration With Applications.* 2nd Edition Prentice-Hall Inc. California 1981.

Voss L, Allais T., King S., and Parkins J., 2009. *Plans and Specifications of A Suborbital*

Rocket Payload. AKPV Engineering University of Wyoming.

Zahrai S., M and Rod A.F., 2009. *Effect of Impact Damper on SDOF System Vibrations Under Harmonic and Impulsive Excitations.* Journal of Physics Conference Series 181 www.ltpaobserverproject.com.