

KARAKTERISTIK STRUKTUR MUATAN ROKET RX 320 LAPAN AKIBAT PENGARUH GETARAN

PAYLOAD COMPARTEMENT CHARACTERISTICS OF ROCKET RX 320 DUE TO VIBRATION

Agus Budi Djatmiko, Haryadi Abrizal
Pusat Teknologi Roket - LAPAN
agusbudi60@gmail.com

Abstrak

Akibat gaya dorong yang diberikan pada roket selama penerbangan, struktur muatan roket akan mengalami getaran gaya paksa. Untuk masalah getaran, salah satu perhatian utama adalah bila getaran paksa memiliki frekuensi yang sama dengan frekuensi natural benda yang dikaji. Dalam situasi ini, respon obyek bisa menjadi ekstrem (biasanya melalui perpindahan fisik), dan kerusakan dapat terjadi ke objek. Setiap benda yang mempunyai massa dan elastisitas mempunyai potensi untuk bergetar. Oleh karena itu setiap struktur rekayasa, seperti halnya pada struktur muatan roket yang mempunyai massa dan elastisitas, maka struktur tersebut mempunyai potensi untuk menimbulkan getaran. Penelitian ini berusaha menentukan besar frekuensi natural dari struktur muatan roket untuk dibandingkan besarnya dengan frekuensi getaran paksa yang dialami saat proses peluncuran roket. Dalam penelitian ini digunakan bahan struktur muatan dari aluminium 2024 T3 dengan densitas 2770 kg/m^3 dan modulus elastisitas $E = 70e^9 \text{ N/m}^2$. Metodologi yang digunakan yaitu melakukan studi lengkap terhadap persamaan gerakan sistem yang ditinjau. Mula-mula sistem diidealisasi 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. Hasil penelitian terhadap frekuensi struktur muatan roket RX 320 LAPAN dengan FE yang bekerja pada pada roket akibat gaya dorong menurut AKPV Engineering University of Wyoming sebesar $f = 5 \text{ s/d } 2000 \text{ Hz}$, didapat besarnya FE natural arah melintang adalah $f_{n,transv} = 362294 \text{ Hz}$ atau $\omega/\omega_n = f/f_n = 0,0055$ dan FE natural arah axial adalah $f_{n,axial} = 486484 \text{ Hz}$ atau $\omega/\omega_n = 0,0041$, maka struktur muatan roket sangat aman terhadap gangguan gaya paksa karena FE natural struktur muatan lebih besar dari FE kerja roket dan bekerja pada daerah rasio frekuensi $\omega/\omega_n < 0,3$.

Kata kunci : struktur muatan roket, frekuensi kerja, FE natural

Abstract

Due to the force of thrust given to the rocket during flight, the rocket-load structure will experience forced force vibrations. For the problem of vibration, one of the main concerns is that the object will be forced to vibrate at the same frequency in the natural frequency object. In this situation, the object response can be extreme (usually through physical displacement), and damage can occur to the object. Any object having mass and elasticity has the potential to vibrate. Therefore, any engineering structure as well as in the rocket structure has mass and elasticity, the structure has the potential to cause vibration. In this research used material structure of aluminum 2024 T3 with density 2770 kg / m^3 and elastic modulus $E = 70e9 \text{ N / m}^2$. In designing the rocket payload structure should not work at its natural frequencies as it may cause the charge to vibrate with large amplitude or resonance. It is necessary to study the magnitude of natural frequencies of rocket load structure due to the effect of vibration. One approach is to conduct a complete study of the system movement equations reviewed. initially the system is idealized and simplified by the terminology of the mass and the respective springs representing objects and elasticity. Then the equation of motion states as a function of time or will give the distance of the mass position for a moment during its movement and its equilibrium position. The results of the research on the frequency of rocket load structure of RX 320 LAPAN with frequencies working on rocket due to the thrust force according to AKPV

Engineering University of Wyoming of $f = 5$ s / d 2000 Hz, obtained the natural transverse frequencies are $f_{n,transv} = 362294$ Hz or $\omega/\omega_n = f/f_n = 0,0055$ and the natural frequencies of the axial direction are $f_{n,axial} = 486484$ Hz atau $\omega/\omega_n = 0,0041$, $f_{n,axial} = 486484$ Hz or or $\omega/\omega_n = 0,0041$, the structure of the rocket charge is very safe against forced force disturbance because the natural frequencies of the payload structure are greater than the frequencies of rocket work and work on the frequency ratio $\omega/\omega_n < 0,3$.

Keywords: rocket load structure, working frequency, natural frequencies

1. PENDAHULUAN

Struktur muatan pada roket adalah salah satu komponen roket yang sangat penting, karena harus mampu menahan massa-massa elektronik dan getaran akibat proses pembakaran pada roket. Oleh karena fungsinya, kolom muatan pada roket harus benar-benar mampu menerima beban yang dibawa dan getaran yang terjadi. Muatan roket terdiri dari kolom-kolom yang menyangga beberapa baki yang terbuat dari bahan aluminium atau makrolon, baki adalah tempat kedudukan alat-alat elektronik untuk memandu roket.[1,2,6] Aluminium dipilih untuk kolom dukungan karena kekuatan yang tinggi dalam perbandingan berat dan biaya yang rendah.

Akibat gaya dorong yang diberikan pada roket selama penerbangan, muatan akan mengalami getaran gaya paksa. Untuk masalah getaran, salah satu perhatian utama adalah objek yang akan dipaksa bergetar pada frekuensi yang sama pada obyek frekuensi natural. Dalam situasi ini, respon obyek bisa menjadi ekstrem (biasanya melalui perpindahan fisik), dan kerusakan dapat terjadi ke struktur muatan roket. Proses timbulnya gaya paksa pada roket dapat dijelaskan sebagai berikut : propelan yang ada pada tabung roket yang berfungsi sebagai bahan bakar dinyalakan sehingga terjadi pembakaran dalam tabung motor yang dapat menimbulkan temperatur dan tekanan dalam tabung motor naik.[10]. Kenaikan temperatur dan tekanan dalam tabung dapat menimbulkan pembebanan atau gaya pada tabung motor roket ke arah radial dan aksial dan juga menimbulkan gaya akibat tegangan panas. Tekanan yang terjadi dalam motor disalurkan melalui nosel yang fungsinya mengubah energi tekan menjadi energi kinetis, sehingga menimbulkan gaya dorong yang keluar dari nosel roket. Karena adanya gaya-gaya aksial dan radial, maka akan menyebabkan timbulnya getaran, sehingga dalam penelitiannya dicari berapa besar frekuensi natural dari struktur muatan roket dalam dua arah tersebut [4,5,6,7].

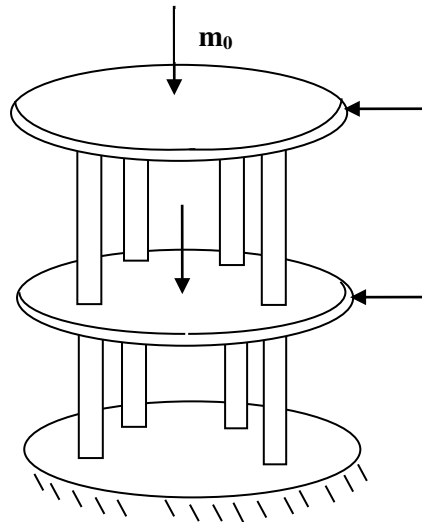
Struktur sparasi roket dapat dianggap sebagai benda yang mempunyai distribusi massa dan elastisitas, untuk menentukan kedudukan tiap partikel dalam benda elastik, diperlukan koordinat tak berhingga, sehingga benda semacam itu mempunyai derajat kebebasan tak berhingga.

Dalam perancangannya struktur muatan roket tidak boleh bekerja pada frekuensi natural-nya karena dapat menyebabkan struktur muatan bergetar dan dapat menyebabkan kerusakan pada struktur muatan roket[9,11]. Salah satu pendekatannya yaitu melakukan studi lengkap terhadap persamaan gerakan sistem yang ditinjau. mula-mula sistem diidealisasi 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. Selama penerbangan, roket akan mengalami berbagai getaran paksa antara (5-2000) Hz, sehingga frekuensi natural harus lebih tinggi dari itu dalam rangka menjaga rasio frekuensi rendah [6,8].

Dalam tulisan ini diteliti besarnya frekuensi natural dari struktur muatan roket RX 320 dalam arah axial dan transversal akibat getaran dari gaya paksa.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Mencari Besar Frekuensi Natural



Gambar 1. Struktur Kolom Muatan Roket RX 320

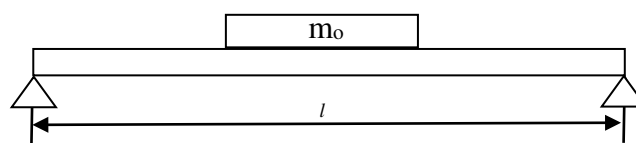
Untuk mencari frekuensi alami dari *payload* (muatan) roket RX 320, Metode Energi Rayleigh dapat diterapkan. Karena *payload* terdiri dari dukungan balok dengan berat pada mereka, dapat disederhanakan menjadi konservatif dianalisis sebagai balok tetap-tetap tunggal dengan berat terkonsentrasi di tengah kolom. Pertama, bentuk modulus diperlukan untuk menggambarkan defleksi kolom dalam arah aksial dan melintang. Bentuk persamaan modulus getar untuk arah aksial dan transversal yang ditunjukkan di bawah ini.

$$\phi(x) = C \sin\left(\frac{\pi x}{l}\right) [3,6,9] \quad (1)$$

$$\phi(x) = C \left(x^2 - \frac{2x^2}{l} + \frac{x^4}{l^2} \right)$$

Bentuk modulus aksial adalah bentuk modulus yang tepat, dan bentuk melintang modulus ditentukan dengan menggunakan persamaan polinomial dan kondisi batas.

Pertama analisis dalam arah aksial dapat dilakukan. Energi regangan persamaan untuk baki dianggap sebagai balok kemudian menjadi,



Gambar 2. Model Tumpuan Beam Sederhana Dari Baki Muatan Roket RX 320

$$u(x) = C \sin\left(\frac{\pi x}{l}\right) \sin \omega_n t . [3,9,11] \quad (2)$$

Penurunan terhadap t dan x maka dapat diketahui

$$\frac{\partial u}{\partial x} = C \cos\left(\frac{\pi x}{l}\right) \frac{\pi}{l} \sin \omega_n t \text{ dan } \frac{\partial u}{\partial t} = C \sin\left(\frac{\pi x}{l}\right) \omega_n \cos \omega_n t$$

Energi potensial diberikan dengan :

$$V = \frac{1}{2} \int_0^l EA \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 dx$$

Substitusi dan integrasi memberikan :

$$V = \frac{1}{2} EAC^2 \left(\frac{\pi}{l} \right)^2 \sin^2 \omega_n t \frac{l}{2} \text{ dan } V_{\max} = \frac{1}{2} EAC^2 \left(\frac{\pi}{l} \right)^2 \frac{l}{2} \text{. [3,6]} \quad (3)$$

Energi kinetik dari sistem diberikan sebagai :

$$T = \frac{1}{2} \int_0^l \rho A \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)^2 dx$$

Substitusi dan integrasi maka,

$$T = \frac{1}{2} \int_0^l \rho A \left(C \sin \frac{\pi x}{l} \omega_n \cos \omega_n t \right)^2 dx \text{ Dan } T_{\max} = \frac{1}{2} \rho A C^2 \omega_n^2 \frac{l}{2} \text{. [3,6]} \quad (4)$$

Kemudian diambil T_{\max} sama dengan V_{\max} memungkinkan untuk frekuensi alami dari sistem yang akan ditemukan.

$$T_{\max} = V_{\max} \text{, maka } \frac{1}{2} EAC^2 \left(\frac{\pi}{l} \right)^2 \frac{l}{2} = \frac{1}{2} \rho A C^2 \omega_n^2 \frac{l}{2}$$

$$\omega_{n,axial} = \sqrt{\frac{E(\pi/l)^2}{\rho}} \text{ (rad/detik).. [3,6]} \quad (5)$$

$$f_{n,axial} = \frac{60 \omega_{n,axial}}{2\pi} \text{ (Hz)}$$

Melalui pendekatan yang sama, frekuensi alami untuk arah melintang dapat ditemukan.

$$V(x) = C \left(x^2 - \frac{2x^3}{l} + \frac{x^4}{l^2} \right) \sin \omega_n t$$

Penurunan terhadap t dan x maka dapat diketahui

$$\frac{\partial V}{\partial x} = C \left(2x - \frac{6x^2}{l} + \frac{4x^3}{l^2} \right) \sin \omega_n t \text{ dan } \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = C \left(2 - \frac{12x}{l} + \frac{12x^2}{l^2} \right) \sin \omega_n t$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = C \left(x^2 - \frac{2x^3}{l} + \frac{x^4}{l^2} \right) \omega_n \cos \omega_n t \text{, dan } V = \frac{1}{2} \int_0^l EA \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \right)^2 dx \quad (6)$$

Substitusi dan integrasi dari persamaan (6) diatas memberikan,

$$V = \frac{1}{2} \int_0^l EA \left(C \left(2 - \frac{12x}{l} + \frac{12x^2}{l^2} \right) \sin \omega_n t \right)^2 dx \text{, dan } V = \frac{1}{2} EAC^2 \left(\frac{\pi}{l} \right)^2 \sin^2 \omega_n t (0,8l)$$

$$V_{\max} = \frac{1}{2} EAC^2 (0,8l) \quad (7)$$

Energi kinetik dari sistem diberikan sebagai :

$$T = T_b + T_m$$

Substitusi dan integrasi persamaan diatas memberikan,

$$T = \frac{1}{2} \int \rho A \left(\frac{\partial V}{\partial t} \right)^2 dx + \frac{1}{2} m_o \left(\frac{\partial V}{\partial t} \right)^2 \Bigg|_{x=\frac{l}{2}} \text{, hasil penurunan didapat,}$$

$$T_{\max} = \frac{1}{2} C^2 \omega_n^2 l^4 \left(\rho A l (0,001587) + \left(\frac{m_o}{256} \right) \right) \quad (8)$$

Kemudian diambil T_{\max} sama dengan V_{\max} memungkinkan untuk frekuensi alami dari sistem yang akan ditemukan.

$$T_{\max} = V_{\max}$$

$$\frac{1}{2} C^2 \omega_n^2 l^4 \left(\rho A l (0,001587) + \left(\frac{m_o}{256} \right) \right) = \frac{1}{2} E A C^2 (0,8l)$$

$$\omega_{n,transverse} = \sqrt{\frac{0,8EA}{l^2 \left(\rho A l (0,001587) + \frac{m_o}{256} \right)}} \text{ (rad/detik)} \quad (9)$$

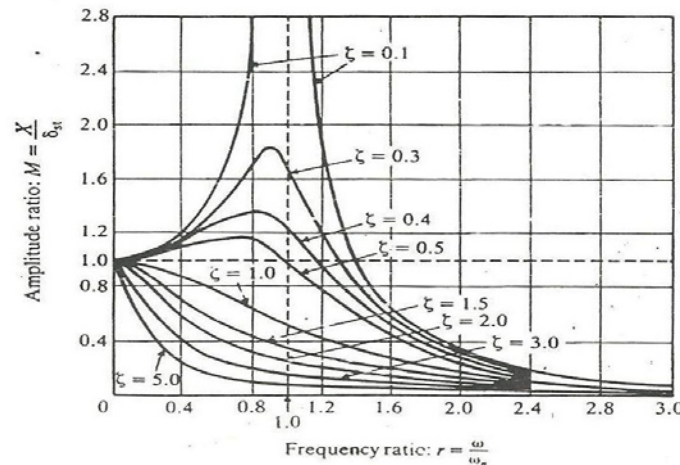
Dimana :

$$A = \text{luas kolom} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (0,01)^2}{4} = 0,000785 \text{ m}^2, \text{ dan } l = \text{panjang kolom} = 25 \text{ cm}$$

m_0 = beban muatan per tingkat, karena ada 2 tingkat, maka $m_0 = 12,5 \text{ kg}$

$$f_{n,transverse} = \frac{60 \times \omega_{n,transverse}}{2\pi} \dots (\text{Hz})$$

2.2. Keamanan Struktur Muatan



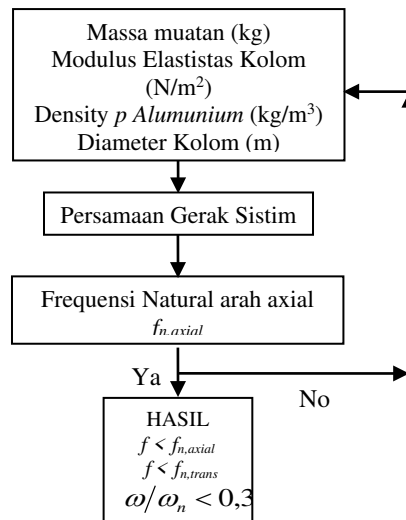
Gambar 3. Rasio Amplitudo vs Rasio Frekuensi

Untuk menjaga keamanan struktur muatan roket adalah dengan merancang frekuensi alami yang besar dari struktur muatan roket, yang akan menjaga rasio frekuensi minimal, menghilangkan perubahan respon frekuensi besar, guna untuk menghindari adanya resonansi (lihat Gambar 2.3).

Selama roket terbang, roket akan mengalami berbagai getaran paksa antara (5-2000 Hz), sehingga frekuensi natural harus lebih tinggi dari itu dalam rangka menjaga rasio frekuensi rendah yaitu $\omega/\omega_n < 0,3$. [6]

3. METODOLOGI

Penelitian dimulai dari mencari data dan ukuran struktur muatan roket RX 320, spesifikasi bahan dari kolom, baki dan massa dari muatan, kemudian analisa persamaan gerak dari struktur muatan roket arah axial maupun transversal akibat getaran bebas. Kemudian diteliti frekuensi naturalnya untuk beberapa panjang kolom sehingga mendapatkan hasil yang optimal.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian Frekuensi Natural Struktur Muatan Roket RX 320

4. PENGOLAHAN DATA

Data struktur kolom muatan roket RX 420 sebagai berikut :
 Modulus elastisitas (E) : $70 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$, Diameter Kolom (d) : 10 mm,
 Massa *payload* (m_o) : 12,5 kg, Density (ρ) Alumunium : 2770 kg/m^3

4.1. Mencari besar frekuensi natural arah aksial

Dengan menggunakan persamaan 5, maka didapat besar frekuensi natural arah axial :

$$\omega_{n,axial} = \sqrt{\frac{E(\pi/l)^2}{\rho}} = \sqrt{\frac{70e9(\pi/0,31)^2}{2770}} = 50918.\text{rad / det ik}$$

$$f_{n,axial} = \frac{60 \times \omega_{n,axial}}{2\pi} = \frac{60 \times 50918}{2\pi} = 486484.2 \text{ Hz, dan } \omega / \omega_{n,trans} = 2000 / 486484,2 = 0,0041$$

4.2. Mencari besar frekuensi natural arah Transversal

Dengan menggunakan persamaan 9, maka didapat besar frekuensi natural arah transversal :

$$\omega_{n,transverse} = \sqrt{\frac{0,8EA}{l^2 \left(\rho A l (0,001587) + \frac{m_o}{256} \right)}}, \text{ hasil perancangan didapat nilai}$$

Kedua frekuensi ini jauh lebih besar daripada frekuensi tertinggi memaksa yang diharapkan. Hal ini menunjukkan bahwa rasio frekuensi akan sangat kecil, akibatnya, respon frekuensi kompleks akan tetap kecil juga. Menggunakan frekuensi tertinggi paksa kemungkinan 2000 Hz, maka rasio frekuensi:

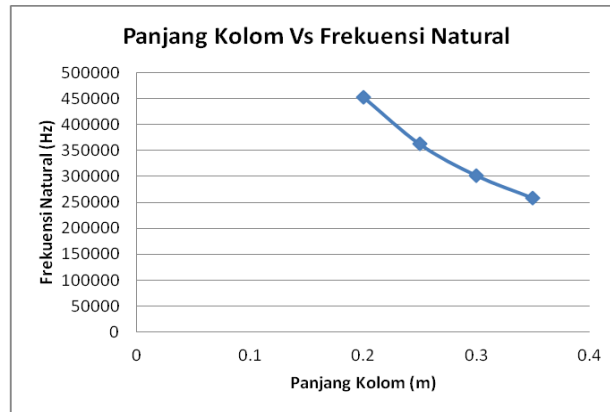
$$37920.\text{rad / det ik dan } f_{n,transverse} = 362294 \text{ Hz, dan } \omega / \omega_{n,trans} = 2000 / 362294 = 0,0055$$

Dari perancangan ini, dapat ditentukan bahwa muatan roket akan tetap stabil dan tidak rusak selama penerbangan roket dan atas getaran roket memaksa.

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Dari Grafik 1, nampak hasil perhitungan panjang kolom terhadap frekuensi natural struktur tabung muatan roket RX 320 arah transversal dengan metode rayleigh, kolom terbuat dari

aluminium dengan $E = 70 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ dan diameter kolom 0,01 m dengan panjang kolom pada penelitian ini digunakan $l = 0,2$ s/d $0,35$ m dengan tujuan untuk mendapatkan hasil yang optimal secara disain. Dari hasil perancangan dapat dilihat pada grafik 2 di atas, makin besar panjang kolom, maka semakin kecil frekuensi naturalnya hal ini tentu kurang baik untuk struktur muatan roket. Pada penelitian ini digunakan panjang kolom 0,25 m dengan frekuensi natural $f_n = 3662294 \text{ Hz}$, dengan rasio frekuensi $\omega / \omega_{n,transv} = 2000 / 362294 = 0,0055$, struktur muatan sangat aman sekali terhadap gangguan gaya paksa roket arah transversal berdasarkan kriteria disain karena bekerja pada daerah $\omega / \omega_n < 0,3$ lihat grafik rasio frekuensi (gambar 2.3)



Gambar 5. Grafik Panjang Kolom Terhadap Frekuensi Natural Struktur Muatan roket RX 320 Arah Transversal

2. Dari perancangan struktur muatan roket arah axial dengan menyederhanakan sebagai model tumpuan beam (lihat gambar 2) dengan bahan beam adalah aluminium, panjang beam $l = 0,31$ m, modulus elastisitas $E = 70 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ dan density $\rho = 2770 \text{ kg/m}^3$ hasil perhitungan didapat frekuensi natural arah axial adalah $f_n = 486484 \text{ Hz}$, dengan rasio frekuensi $\omega / \omega_{n,transv} = 2000 / 486484 = 0,0041$, struktur muatan sangat aman sekali terhadap gangguan gaya paksa roket arah axial berdasarkan kriteria disain karena bekerja pada daerah $\omega / \omega_n < 0,3$ lihat grafik rasio frekuensi (gambar 3)

6. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian terhadap struktur muatan roket RX 320 akibat beban getaran yang terjadi dapat disimpulkan sebagai berikut :

Besarnya frekuensi natural dalam arah transversal untuk struktur muatan roket RX 320 LAPAN dengan bahan aluminium 2023 T3, panjang kolom 0,25 m dan diameter kolom 0,01 m adalah $f_{n,transv} = 362294 \text{ Hz}$ sedangkan frekuensi yang bekerja pada pada roket akibat gaya dorong menurut AKPV Engineering University of Wyoming sebesar 5 s/d 2000 Hz, maka $\omega / \omega_{n,transv} = 2000 / 362294 = 0,0055$ hal ini cukup aman karena bekerja pada daerah $\omega / \omega_n < 0,3$.

Sedangkan frekuensi natural dalam arah axial untuk struktur muatan roket RX 320 LAPAN dengan bahan yang sama, panjang beam $l = 0,31$ m, density 2770 kg/m^3 dan modulus elastisitas $E = 70 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ adalah $f_{n,axial} = 486484 \text{ Hz}$ dan $\omega / \omega_{n,axial} = 2000 / 486484 = 0,0041$ cukup aman untuk struktur muatan roket karena bekerja pada daerah $\omega / \omega_n < 0,3$

Dapat dikatakan struktur muatan roket RX 320 LAPAN sangat aman terhadap gangguan gaya paksa dari roket.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya penelitian ini saya sebagai penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Kepala Pusat Roket LAPAN dan Group Leader Struktur mekanika Roket LAPAN yang telah memberikan izin dan data-data untuk penelitian ini.

PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi makalah ini merupakan tanggung jawab penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Annu Cherian, P. Geena George, Dr. C. Prabha “ Response Analysis Of *Payload* Fairing Due To Acoustic Excitation“ INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH VOLUME 4, ISSUE 11, NOVEMBER 2015. ISSN 2277-8616 302 IJSTR©2015 www.ijstr.org
- [2] Carl Q. Howard, Colin H. Hansen, and Anthony C. Zander “ Noise Reduction of a Rocket *Payload* Fairing Using Tuned Vibration Absorbers with Translational and Rotational DOFs “Proceedings of ACOUSTICS 2005 9-11 November 2005, Busselton, Western Australia
- [3] J.P. Chopade P.G. R.B. Barjibhe “Free Vibration Analysis of Fixed Free Beam with Theoretical and Numerical Approach Method “ International Journal of Innovations in Engineering and Technology (IJIET) Vol. 2 Issue 1 February 2013. ISSN: 2319 – 1058
- [4] N.T. Heine ·E. Figueroa-Feliciano ·J.M. Rutherford ·P. Wikus ·P. Oakley ·F.S. Porter ·D. McCammon “ Vibration Isolation Design for the Micro-X Rocket *Payload* “ [accessed Oct 3, 2017] journal of Low Temperature Physics manuscript No.
- [5] Dong-Xu Li, Wang Liu, and Dong Hao “ Vibration Antiresonance Design for a Spacecraft Multi functional Structure“ Hindawi Shock and Vibration Volume 2017, Article ID 5905684, 10 pages <https://doi.org/10.1155/2017/5905684>
- [6] Luke Voss, Tony Allais, Sean King, Jeff Parkins.,2009 “Plans and Specifications of A Suborbital Rocket *Payload* “AKPV Engineering University of Wyoming
- [7] Warren C.Strahle John C.Handley “PREDICTION OF COMBUSTION INDUCED VIBRATION IN ROCKET MOTORS “ FINAL REPORT April 1978 GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY SCHOOL OF AEROSPACE ENGINEERING ATLANTA, GEORGIA 30332.
- [8] Bruel and Kjaer “ Mechanical Vibration and Shock Measurements “ 2nd edition 3rd impression PRINTED IN DENMARK: K. LARSEN & SON A/S. DK-2860 April 1984
- [9] Singiresu S. Rao “ Mechanical Vibrations “ Addison-Wesley Publishing Company, Third Edition California 1995
- [10] J.W. Cornelisse, H.F.R. Schoyer, K.F. Wakker “ Rocket Propulsion and Spaceflight Dynamics “Pitman Publishing Limited London 1979.
- [11] William T. Thomson “ Theory Of Vibration With Applications “ 2nd Edition Prentice- Hall Inc. California 1981.

STRUKTUR MUATAN ROKET RX 320

