

Perancangan Peredam Untuk Melindungi Payload Roket Dari Gangguan Shock Dan Vibrasi

Oleh:
Andreas Prasetya Adi *
Wahyu Widada *
Sutisno *

Abstrak

Durasi yang penting dan sangat menentukan pada peluncuran roket adalah saat mulainya meluncur sampai habis terbakar, yaitu *burning time*. Pada durasi tersebut motor roket menimbulkan getaran yang menggetarkan seluruh roket beserta isinya. Bagian yang rentan mengalami gangguan adalah payload roket. Payload ini terdiri dari berbagai peralatan elektronik, transmitter, bermacam-macam sensor, akselerometer, gyro, dan sebagainya, termasuk *embedded controller system*.

Pada makalah ini disajikan perancangan peredam untuk melindungi payload, khususnya *embedded controller system*, dari gangguan shock dan vibrasi. Getaran motor roket disimulasikan menggunakan motor elektromagnetik, dan getaran diukur menggunakan sensor akselerometer. Hasil pengukuran ditampilkan dalam bentuk kurva, yang menunjukkan level getaran pada beberapa bagian benda uji. Hasil dari beberapa percobaan dapat digunakan untuk menentukan bahan peredam yang baik untuk dipakai guna mengurangi getaran yang mengganggu instrumen pada payload.

Kata kunci : roket, vibrasi, frekuensi, sistem, durasi.

Abstract

The important and very deterministic duration in rocket launching is the time starting to launch until propellant burning out, named *burning time*. In the duration, rocket motor generates vibrations acting on whole rockets body including the content. Part of sensitive disturbance is the rocket payload. The payload consists of various electronic instruments, transmitter, various sensor, accelerometer, gyro etcetera, including *embedded controller system*.

The paper presents designing of damping to protect payload, mainly *embedded controller system*, from rocket shock and vibration disturbance. The rocket vibration is simulated using electromagnetic motor, and the vibrations are measured using accelerometer sensor. The measurement results were displayed in the form of curve, indicating the vibration level on some parts of the tested material. Some measurement results can be applied to determine the good material to attenuate vibration disturbing the instruments on the payload.

Keywords : rocket, vibration, frequency, system, duration.

1. PENDAHULUAN

Trayektori roket telah ditentukan atau diprediksi dulu, sebelum roket diluncurkan. Untuk mengamati trayektori ini, digunakan radar yang diletakkan di permukaan bumi pada lokasi strategis, yang mudah untuk memantau roket selama penerbangannya. Disamping menggunakan radar, pemantauan trayektori juga dapat dilakukan menggunakan gyro dan akselerometer, yang dilengkapi dengan peralatan untuk transmisi data, serta peraga (*display*,) maupun pencatat. Berbagai upaya dilakukan untuk mengoptimalkan fungsi gyro dan akselerometer ini, agar diperoleh hasil pengukuran yang akurat. Salah satu upaya ini adalah melakukan penyaringan sinyal untuk memisahkan sinyal yang akan diukur dengan sinyal gangguan. Sinyal gangguan yang sangat berpengaruh adalah gangguan yang berasal dari getaran motor roket, yang berupa *shock* (hantaman, hentakan) dan vibrasi. Ini terutama terjadi selama durasi *burning time*.⁶⁾

Untuk mengurangi dampak *shock* dan vibrasi ini secara langsung, dilakukan menggunakan peredam mekanik. Pada perancangan ini digunakan kombinasi peredam mekanik pegas dan isolator bahan silicon gel. Pegas digunakan untuk peredaman bagian luar yaitu untuk meredam gangguan kepada kotak *payload*, sedangkan silicon gel untuk sebelah dalam, digunakan untuk meredam dan melindungi PCB (*printed circuit board*) serta rangkaian elektronik lainnya.

* Peneliti Pustekroket-LAPAN

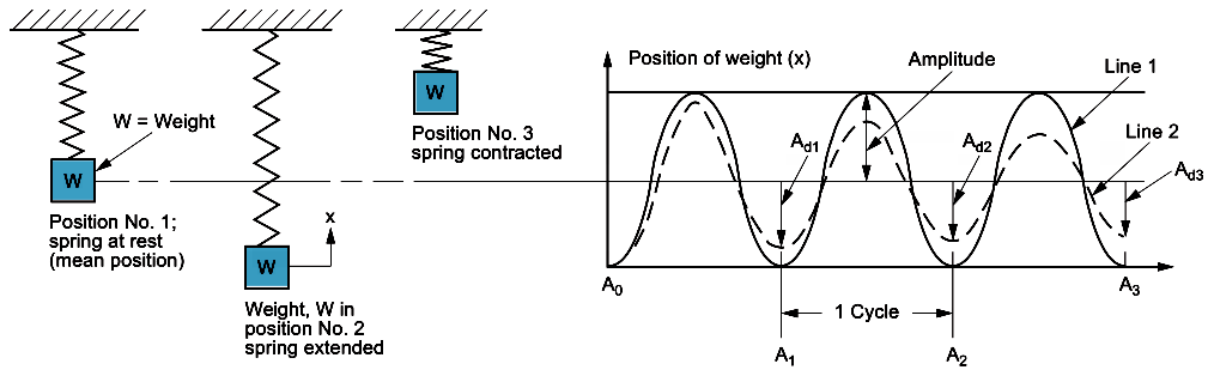
2. METODOLOGI

Pada perancangan peredam ini digunakan pegas dan silikon gel sebagai bahan utama. Pegas dipilih sesuai dengan nilai *stiffness* yang diperlukan, yang telah diuji dan ditentukan dari fabrikasi. Sedangkan silikon gel dicetak (dicor) dan diuji untuk mengetahui karakteristiknya, sampai diperoleh hasil yang sesuai dengan kebutuhan. Penentuan *stiffness* pegas dan silikon gel ini disesuaikan dengan frekuensi dan amplitudo sinyal gangguan dan ketahanan alat yang dilindungi terhadap *shock* dan vibrasi. Awal pengujian dilakukan untuk memperoleh hasil guna perbaikan dan koreksi perancangan yang berikutnya. Dengan demikian akan diperoleh hasil perancangan yang semakin baik, dalam artian dapat meredam gangguan secara efektif dan optimal.

3. LANDASAN TEORI

3.1 Vibrasi

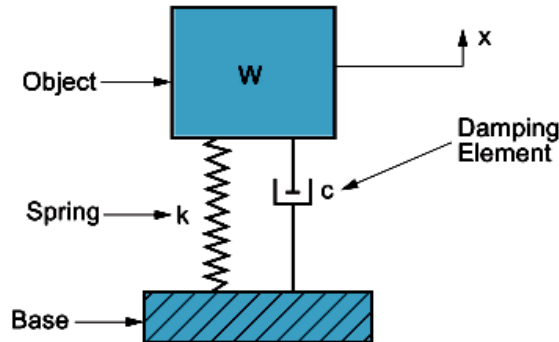
Vibrasi merupakan suatu gerak yang beresilasi. Ini terjadi di dalam berbagai mesin, roket dengan motornya, motor listrik, dan peralatan lain. Vibrasi dapat digambarkan dengan sederhana pada Gambar 3.1, yaitu pegas yang diberi beban, dan digantungkan pada atap.⁴⁾ Posisi beban kalau digambarkan sebagai fungsi dari waktu, akan membentuk fungsi sinusoid.



Gambar 3.1: Ilustrasi vibrasi⁷⁾

Secara teoritis ayunan atau gerak osilasi tersebut akan berlangsung selamanya tanpa berhenti, bila tidak ada gesekan. Pada sistem pegas-massa atau sistem ayunan, gesekan ini ditimbulkan pada *bearing* dan gesekan udara.

Gerak vibrasi sebagai fungsi dari waktu yang ditunjukkan pada Gambar 1 (*line 1*) tidak akan berubah. Energi potensial pegas berubah menjadi energi kinetik dari massa pejal dan kembali lagi menjadi energi potensial pada pegas, dan demikian seterusnya. Akan tetapi dalam kenyataannya, selalu terjadi kerugian energi, yang biasanya berubah menjadi energi termal akibat gesekan, ketidaksempurnaan pegas, dan sebagainya.¹¹⁾ Akibatnya, energi total untuk menunjang gerak osilasi makin lama makin berkurang, dan akan menurunkan amplitudo pegas seperti ditunjukkan pada *line 2* dari Gambar 3.1. Fenomena ini disebut *damping*, yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2: Sistem vibrasi dengan *damping*¹⁾

Komponen disipasi energi pada Gambar 3.2 disebut *damper*. Laju pengurangan amplitudo pada sistem vibrasi dengan *damping* dinyatakan dalam logaritmis, sebesar:

$$\delta = \log \left(\frac{A_n}{A_{n-1}} \right)$$

Dimana A_n dan A_{n-1} adalah dua nilai amplitudo yang berurutan pada proses vibrasi. Dalam banyak kasus, harga δ diasumsikan konstan selama proses. ³⁾

3.2 Frekuensi Pribadi (*natural frequency*)

Gerak osilasi yang berdiri sendiri dan tidak dipengaruhi kontrol dari luar, memiliki frekuensi osilasi yang disebut frekuensi pribadi (*natural frequency*). Pegas dan massa pada Gambar 1 merupakan sistem yang mempunyai frekuensi pribadi yang nilainya merupakan fungsi dari kekakuan (*stiffness*) pegas dan massa beban.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{kg}{W}}$$

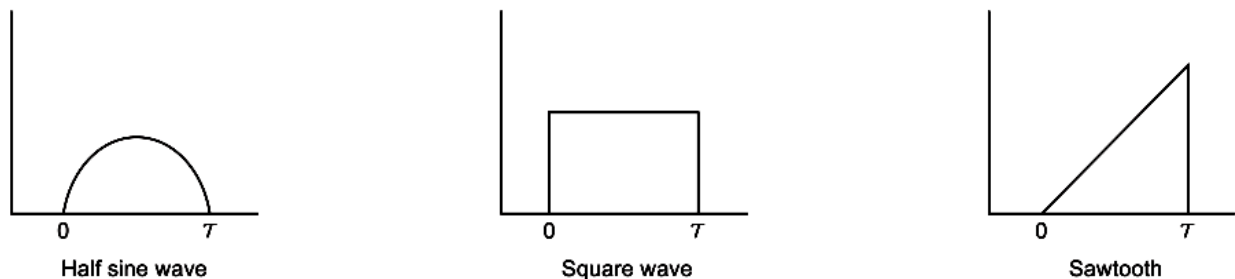
Dimana : f_n = frekuensi pribadi (*natural frequency*), k = *stiffness* pegas, m = massa beban, g = konstanta gravitasi, W = berat beban.

Semua sistem yang dalam keadaan keseimbangan mempunyai frekuensi pribadi. Frekuensi pribadi merupakan frekuensi gerak osilasi suatu sistem yang tidak terpengaruh dan tidak dikontrol dari luar. Sistem yang demikian adalah dalam keadaan keseimbangan, yang sering disebut juga sebagai sistem yang tidak stabil atau osilator. Dalam sistem isolasi vibrasi, frekuensi pribadi merupakan hal yang penting. Frekuensi pribadi sistem peredam getaran atau isolasi vibrasi selalu diupayakan tidak sama dengan frekuensi sumber vibrasi, meskipun kadang-kadang ini merupakan upaya yang sulit.

Resonansi dapat terjadi bila suatu sumber vibrasi mempunyai frekuensi yang sama dengan frekuensi pribadi suatu sistem, dan terdapat media transmisi antara sumber vibrasi dan sistem tersebut. Dengan demikian, dua faktor tersebut merupakan syarat perlu agar dapat terjadi resonansi. Demikian juga muatan roket bisa beresonansi sehingga bergetar keras apabila frekuensi getaran motor roket sama dengan frekuensi pribadi muatan roket tersebut.

3.3 Shock

Shock merupakan kondisi peralihan (*transient*) dimana energi mekanik ditumpahkan dengan mendadak ke suatu sistem dalam perioda waktu yang singkat. Ketentuan waktu singkat disini adalah dibandingkan terhadap perioda dari frekuensi pribadi (*natural frequency*) dari sistem yang mendapat energi mekanik tersebut. *Shock* biasanya terdiri dari pulsa tunggal dari energi yang berintensitas tinggi, dimana lebar pulsa tersebut sangat pendek relatif terhadap perioda osilasi dari sistem. Dengan timbulnya *shock* ini akan terjadi perubahan kecepatan yang mendadak dari sistem yang mendapat *shock*. Prinsip dari vibrasi dan *shock* adalah hampir sama, perbedaannya adalah vibrasi lebih bersifat tunak (*steady*) sedangkan *shock* lebih bersifat peralihan. *Shock* dapat berlangsung dalam banyak cara dan bisa bersifat sangat kompleks. Bentuk yang paling sederhana adalah satu pulsa tunggal dengan durasi yang sangat pendek dan amplitudo yang tinggi. Bentuk pulsa yang umum diperlihatkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3: Bentuk-bentuk pulsa *shock* ¹⁾

3.4 Peredaman Vibrasi

Ada tiga elemen dasar dari semua sistem vibrasi: obyek yang diisolasi (peralatan, instrumen, *payload* roket, dan sebagainya), sistem isolasi (bahan isolator, peredam, *mounting*, pegas, dan sebagainya), dan alas (lantai, anjungan, fondasi, badan roket, dan sebagainya). Pada umumnya sistem

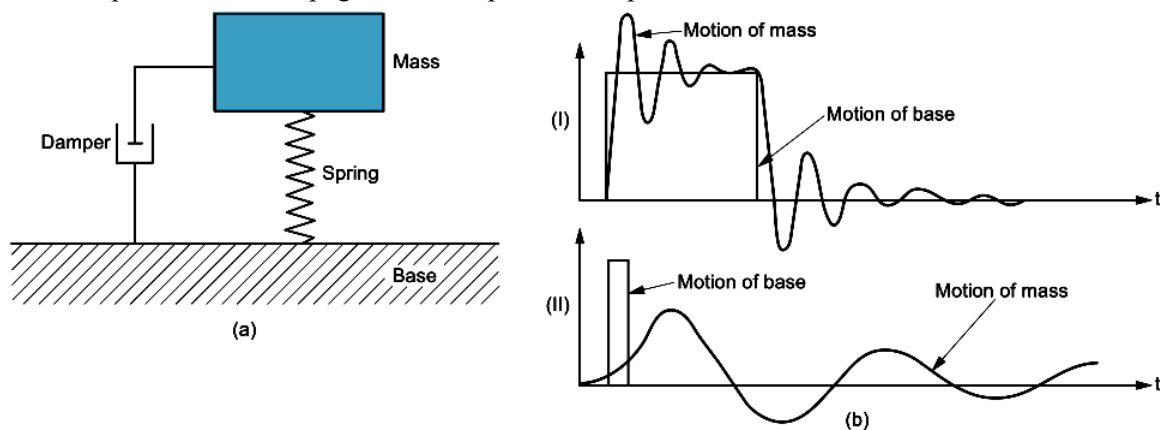
isolasi diletakkan antara obyek dan alas. Ruang penempatan isolasi ini, biasanya jauh lebih kecil daripada obyek maupun alas.

Ada kalanya obyek adalah sumber vibrasi. Dalam hal demikian maka tujuan dari isolasi adalah mengurangi atau meredam daya yang terpancar dari obyek ke alas. Bila alas merupakan sumber vibrasi, maka tujuan isolasi adalah mengurangi atau meredam gerak vibrasi yang dikirim dari alas ke obyek. Dalam kedua kasus tersebut, prinsip sistem isolasi vibrasi adalah sama. Bahan isolator atau peredam berfungsi sebagai penunda dan sebagai penampung energi sementara. Disamping itu, bahan isolator juga dapat berfungsi sebagai pembuang energi atau penyerap energi. Efek dari pembuang atau penyerap energi ini diperoleh dari karakteristik *damping* dari bahan yang digunakan.

3.5 Peredaman Shock

Mekanisme pengurangan atau peredaman *shock* dengan menggunakan isolator terjadi dengan cara penyimpanan energi pada bahan isolator dan kemudian dilepaskan kembali secara gradual dengan mulus pada rentang waktu yang cukup lama (pada frekuensi pribadi dari sistem pegas-massa) atau akibat pelepasan energi *shock* (menjadi energi termal).

Dalam suatu *shock* yang berbentuk pulsa energi, terdapat spektrum frekuensi yang bervariasi, mulai dari yang sangat rendah sampai yang tinggi. Dengan demikian tak akan dapat dihindarkan sepenuhnya terjadinya resonansi antara sumber *shock* dengan sistem isolasi yang berupa sistem pegas-massa. Respons dari sistem pegas-massa diperlihatkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4: Respons sistem pegas massa terhadap *shock*¹⁾

Representasi sistem isolasi diilustrasikan pada Gambar 3.4(a). Pada Gambar 3.4(b), kurva sebelah atas menyatakan respons sistem pegas-massa terhadap pulsa *shock* yang lebar, lebih lebar daripada periode sinyal frekuensi pribadinya, sedangkan kurva sebelah bawah menunjukkan respons terhadap pulsa yang sempit.

4. HASIL DAN ANALISIS

4.1 Masalah Vibrasi dan Shock pada Roket

Salah satu masalah pada roket, terutama roket berdiameter besar dengan muatan yang kompleks adalah adanya vibrasi dan *shock* yang dapat mengganggu fungsi dari sistem kontrol *embedded*, sehingga dapat menggagalkan misi peluncuran roket tersebut^{10, 13)}. Pada peluncuran roket besar RX320 tahun 2009, kendala tersebut masih dialami, muatan elektronik hanya beberapa detik sampai motor masih menyala, kemudian mati tidak berfungsi lagi [Laporan Tahunan 2009 LAPAN]⁹⁾. NASA juga melaporkan pengaruh vibrasi dan *shock* yang dapat mengganggu secara serius kinerja roket mereka^{10, 14, 15)}.

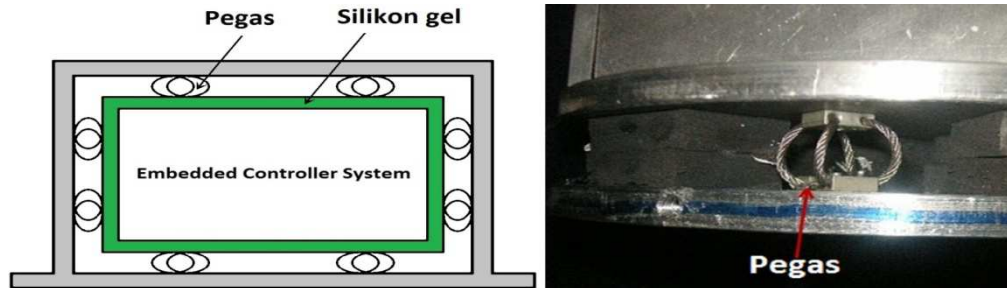
Vibrasi roket dapat terjadi pada frekuensi antara 0 hingga 2000 Hz dan *shock* yang terjadi pada saat motor mulai menyala serta pada saat separasi bagian roket adalah sekitar 20 G (1 G = 10 m/sec²).^{2, 13)}

4.2 Teknik Peredaman Vibrasi dan Shock Secara Mekanik pada Roket

Untuk peredaman *shock* dan vibrasi pada perancangan ini digunakan silicon gel. Material ini mempunyai factor damping yang relatif tinggi yaitu sebesar 0,13.⁵⁾ Nilai ini lebih tinggi daripada

beberapa bahan lainnya, yaitu karet alam, *neoprene*, *butyl*, *felt and cork*.¹²⁾ Metode ini digunakan pula pada peredaman *shock* dan vibrasi untuk melindungi harddisk dari *shock* dan vibrasi ketika digunakan atau sewaktu jatuh.

Metoda peredaman yang diinstal pada roket ini menggunakan pegas logam yang dikombinasikan dengan silikon gel seperti pada Gambar 4.1(a). Pegas tidak dibuat dalam bentuk spiral untuk menghindari ketidakseimbangan pada saat dibebani, melainkan berbentuk omega seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1(b).



Gambar 4.1: (a) Peredaman kombinasi pegas dan silikon gel. (b) Pegas bentuk omega.

Dari Gambar 4.1 terlihat bahwa peredaman terdiri dari dua system, yaitu system peredaman pegas dan peredaman silikon gel.

Fungsi alih system pegas adalah⁸⁾:

$$FA_p = \frac{1}{1 - \omega^2 \frac{m_p}{k_p} + j \omega \partial_p m_p}$$

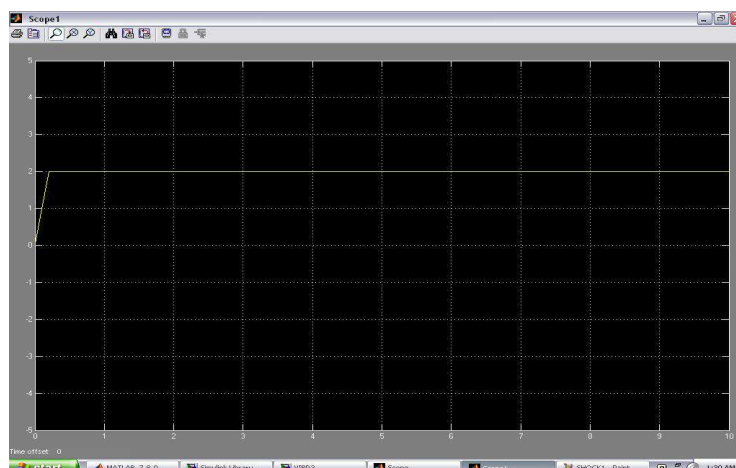
Fungsi alih system silikon adalah⁸⁾:

$$FA_s = \frac{1}{1 - \omega^2 \frac{m_s}{k_s} + j \omega \partial_s m_s}$$

Dimana : FA = fungsi alih, ω = frekuensi, m = massa beban, k = *stiffness*, ∂ = konduktivitas, p = *subscript* untuk pegas, dan s = *subscript* untuk silikon.

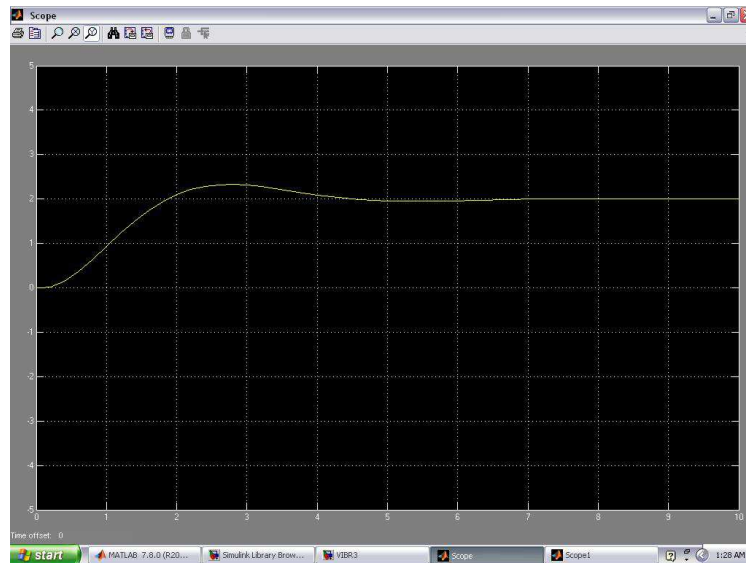
4.3 System peredam pada roket

Akselerasi roket dihitung dari *thrust* mesin roket yang diperoleh dari uji static, dibagi dengan massa roket. Dari perhitungan tersebut diperoleh nilai *shock* yang relatif besar, yaitu yang timbul dari perubahan dari percepatan nol (percepatan relatif pada saat menjelang *launching*) sampai mencapai nilai maksimum 20 G, ditempuh dalam waktu 200 mili detik. Hasilnya, nilai *shock* menjadi 20 G per 200 mili detik atau sama dengan 100 G per detik. Untuk meredam atau menurunkan nilai *shock* ini digunakan peredam pegas. Dengan simulink-matlap, kurva percepatan awal sebelum diredam ditunjukkan pada Gambar 4.2 berikut.



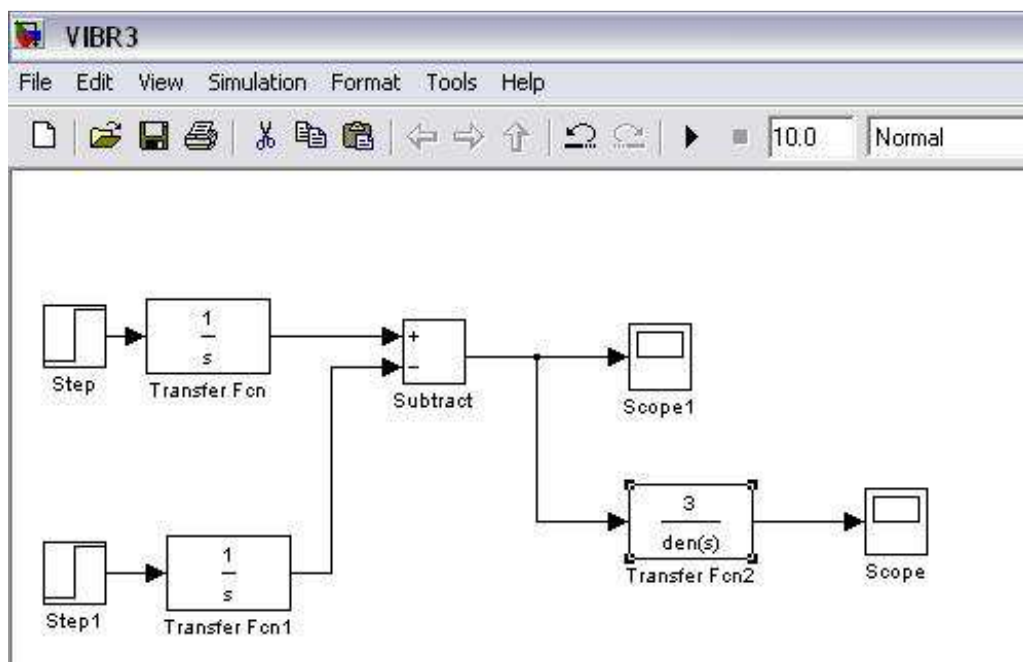
Gambar 4.2: Kurva percepatan vs waktu sebelum peredaman.

Dari Gambar 4.2 terlihat nilai *shock* adalah 100 G per detik. Setelah peredaman dengan menggunakan pegas, bentuk kurvanya menjadi seperti Gambar 4.3.



Gambar 4.3: Kurva percepatan vs waktu sesudah peredaman.

Setelah peredaman pada kurva Gambar 4.3 terlihat nilai *shock* turun menjadi 10 G per detik, sepuluh kali lebih rendah (lebih landai) daripada nilai semula. Program simulink-matlap untuk simulasi tersebut diperlihatkan pada Gambar 4.4.

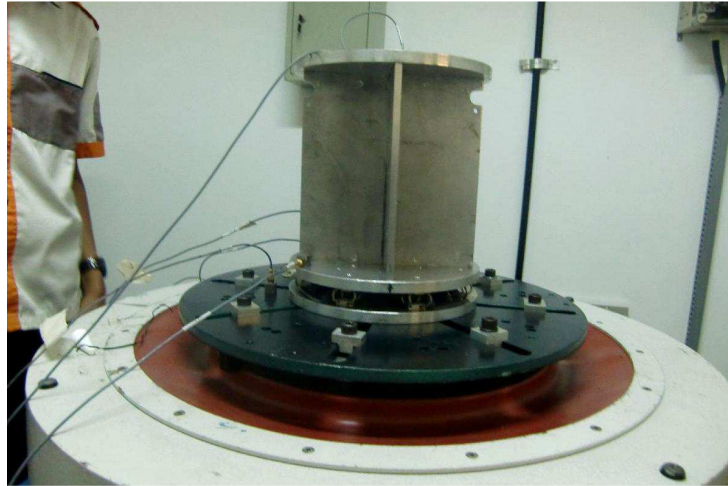


Gambar 4.4: Software simulink untuk menentukan kurva percepatan.

Percepatan sebelum peredaman divisualisasi menggunakan *Scope1*, sedangkan percepatan setelah peredaman diperoleh menggunakan *Scope*. Kurva awal diperoleh dari *subtraction* jalur pada source *Step* dan jalur pada *Step1*. Masing-masing *source* tersebut diintegrasikan menggunakan *Transfer Fcn* dan *Transfer Fcn1*, sedangkan *Transfer Fcn2* merupakan rangkaian peredaman pegas.

4.4 Simulasi Sumber Getaran

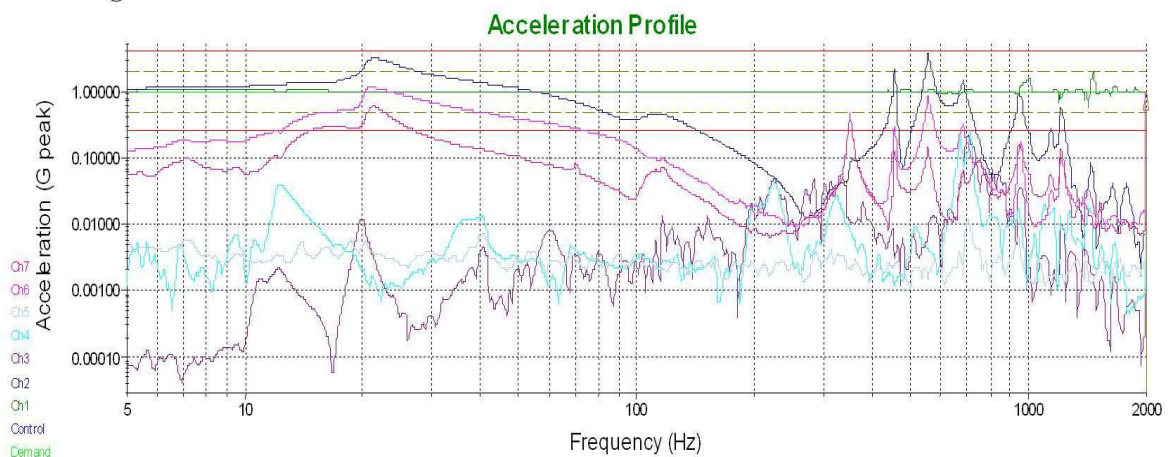
Pelaksanaan percobaan dilakukan di Sentral Teknologi Polimer (STP) – PUSPIPTEK. Sumber getaran motor roket disimulasikan menggunakan motor elektromagnetik yang ditunjukkan pada foto Gambar 4.5. Motor yang mampu dibebani 10 kg dengan implitudo 47 G ini menggetarkan anjungan tempat meletakkan *payload*.



Gambar 4.5 : Motor elektromagnetik untuk simulasi sumber getaran.

Pada percobaan ini digunakan beban 7 kg yang diisi dengan PCB yang telah dibungkus dengan bahan peredam silikon. Sebagai sensor digunakan beberapa akselerometer yang dilekatkan pada bidang yang mau dideteksi. Hasilkan pengukuran getaran pada beberapa bagian benda uji diberikan pada kurva Gambar 4.6.

Running



Oct 12, 2011 15:37:43 Level 1) 100% Output: 0.002854 V sweep frequency 5 - 2000 Hz 1 G

Gambar 4.6: Kurva karakteristik redaman.

Dua kurva sebelah atas pada Gambar 4.6 menunjukkan getaran pada bagian luar *payload*. Terlihat amplitudo dua kurva tersebut relatif lebih besar daripada amplitudo tiga kurva yang sebelah bawah. Tiga kurva ini menyatakan getaran pada permukaan PCB yang terbungkus dengan bahan peredam. Hasil yang ditunjukkan kurva Gambar 4.6 tersebut mengindikasikan bahwa bahan peredam mampu mengeliminasi atau mengurangi getaran kira-kira sebesar 0,9 G.

5. KESIMPULAN

Gangguan getaran motor roket dapat mengganggu instrumen yang digunakan untuk control, sensor, dan instrumen elektronik lainnya. Instrumen yang sangat rawan terganggu adalah *gyro*, yang digunakan pengukuran kecepatan sudut pembelokan arah roket, dan *embedded controller system*. Pengukuran dengan menggunakan *gyro* ini sering mendapat interferensi gangguan yang berasal dari getaran mekanik. Gangguan ini dapat dikurangi dengan menggunakan peredam mekanik yang berupa system pegas dan isolator bahan silicon gel. Dalam perancangan sistem peredam, harus dicegah terjadinya interferensi antara frekuensi sinyal gangguan dengan frekuensi pribadi system peredam. Interferensi terhadap fekuensi pribadi, yang disebut resonansi ini dapat merusak *payload*. Ini terjadi karena dalam kasi yang sangat besar. Ini terlihat dari hasil pengujian Gambar 10. Hasil pengujian menunjukkan, pada frekuensi rendah amplitudo sinyal yang teredam dengan yang belum diredam sama besar. Dengan kenaikan frekuensi, amplitudo sinyal yang diredam akan naik sampai pada frekuensi pribadi, kenaikan amplitudo mencapai maksimum. Diatas frekuensi pribadi, amplitudo sinyal yang teredam semakin turun. Pada frekuensi tinggi, yaitu frekuensi nyata gangguan sekitar 1 kilo hertz, amplitudo sinyal yang teredam menjadi sangat rendah. Dapat disimpulkan pula, dalam perancangan system peredam, frekuensi pribadi harus lebih rendah daripada frekuensi sinyal gangguan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Advanced Vibration Components, *Technical Section: Vibration and Shock Isolation*, www.vibrationmounts.com.
- [2] Agus Harno dkk, *On-Board Fundamental Frequency Estimation of Rocket Flight Experiments Using DSP Microcontroller and Accelerometer*, Jurnal Nasional Dirgantara, 2009.
- [3] Bingshang Li and Xinqi Xu, *Coupled Vibration Analysis of Multiple Launch Rocket System by Finite Element Method*, Computational Methods in Engineering & Science, Part 10, 325, 2007.
- [4] Donghyun Hwang etal, *Vibration Reduction module with Flexure Springs for Personal Tools*, World Academy of Science, Engineering and Technology 56, 2009.
- [5] Enidine, *Wire Rope Isolator Catalog*, www.enidine.com.
- [6] Griffin, Michael D. & French, James R, "*Space Vehicle Design*", AIAA Education Series, Washington, DC. 1991.
- [7] Holter Warren G, *Vibration reduction for electric motors*, US patent 07/985,097, 1997.
- [8] Labarrere, M. & Gimonet, B, "*Le Filtrage et ses applications*", SUP'AERO, ENSAE, Toulouse, 1989.
- [9] Laporan Tahunan Bidang Kendali, 2009.
- [10] R. Caimi etal, *Rocket Launch- Induced Vibration*, NASA report.
- [11] Shin, Sang-chul, *Hard disk drive comprising flexible printed circuit with damping material*, US patent 10/288507, 2002.
- [12] Steinberg, Dave S, *Vibration Analysis for Electronic Equipment*, John Wiley & Sons, 2000.
- [13] T. Srinivas Reddy etal, *Design and analysis of vibration test bed fixtures for space launch vehicles*, Indian Journal of Science and Technology, Vol. 3 No. 5, May 2010.
- [14] THE ASSOCIATED PRESS, *New Rocket Has Problem With Vibration*, The New York Times Published, <http://spectrum.ieee.org>, January 20, 2008..
- [15] www.spacenews.com/civil/fix-for-ares-vibration-issue.html, *NASA Identifies Fix for Ares 1 Vibration*, 16 Sep 2009.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

DATA PRIBADI :

Nama Lengkap : Ir. Sutisno, M.Sc., MSTS., APU.
Tempat & Tgl. Lahir : Ponorogo, 17 Mei 1947
Alamat Rumah : Kompl. LAPAN B -16, RUMPIN 16350
Telepon & HP : (021) 49006215 & 081389829416
Email : rusa9@yahoo.com

PENDIDIKAN:

S1 Jurusan Teknik Elektro, ITB (Bandung), Pasca sarjana Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Dirgantara, ITB,
S2 Jurusan Teknik Telekomunikasi, ITB,
S2 Jurusan Teknik Telekomunikasi, ENSAE,
Spesialisasi *Space Telecommunication*, Supaero,
Sekolah penjenjangan pada Lembaga Administrasi Negara (LAN).

PENGALAMAN :

Dosen pada beberapa perguruan tinggi,
Job training pada AEROLAB Maryland, A.S.
Job training pada DFVLR Jerman Barat,
Job training pada ONERA Perancis,
Peneliti Ahli Utama TEKNOLOGI DIRGANTARA,
Menulis & menerjemahkan beberapa buku kuliah,
Pembicara pada beberapa lokakarya IPTEK di dalam & luar negeri,
Panitia / Pengarah pada beberapa seminar ilmiah.