

PENELITIAN PENGARUH GETARAN MOTOR ROKET TERHADAP BEBAN-GUNA DAN UPAYA ELIMINASI

Oleh :
Sutisno*
Wigati*
Andreas Prasetya Adi*

Abstrak

Motor roket menimbulkan getaran yang menggetarkan seluruh roket beserta isinya. Bagian yang rentan mengalami gangguan adalah beban-guna roket. Beban-guna ini terdiri dari berbagai peralatan elektronik, transmitter, bermacam-macam sensor, akselerometer, gyro, dan sebagainya. Pada makalah ini disajikan penelitian pengaruh getaran motor roket terhadap beban-guna, dan cara mengatasi atau mengurangi gangguan tersebut. 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 beban-guna. Kata kunci : instrument, frekuensi, getaran, pengukuran, energi.

Acstract

A rocket motor generates vibrations acting on whole rocket body including the content. Part of sensitivedisturbance is the rocket payload. The payload consists of various electronical instruments, transmitter, various sensor, accelerometer, gyro etcetera. The paper presents research of rocket vibration influence with respect to the payload, and the method to avoid or to minimize the 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.

Key words : instrument, frequency, vibration, measurement, energy.

1. PENDAHULUAN

Sebelum roket diterbangkan, trayektori roket telah ditentukan atau diprediksi dulu. 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, yang dilengkapi dengan peralatan untuk transmisi data, serta peraga (*display*,) maupun pencatat. Berbagai upaya dilakukan untuk mengoptimalkan fungsi gyro ini, agar diperoleh hasil pengukuran yang akurat. Salah satu upaya ini adalah melakukan penyaringan sinyal untuk memisahkan sinyal yang akan diukur dengan sinyal gangguan. Salah satu sinyal gangguan yang sangat berpengaruh adalah gangguan yang berasal dari getaran motor roket. Tentu saja untuk meredam getaran ini secara langsung, dilakukan menggunakan filter mekanik. Akan tetapi, untuk getaran yang sudah masuk keperalatan gyro, dan telah dikonversikan dari sinyal meknik ke sinyal listrik, maka peredaman gangguan dilakukan menggunakan filter elektronik.

2. LANDASAN TEORI

Benda akan memiliki energi bila sedang bergerak. Konsepsi ini disebabkan karena setiap benda selalu memiliki massa. Massa suatu benda, mempunyai nilai mutlak, tidak tergantung dan tidak terpengaruh oleh lingkungannya. Energi yang dimiliki massa yang melakukan gerak, merupakan energi mekanik. Energi mekanik ini merupakan fungsi kuadratis dari laju geraknya. Oleh karena berhubungan dengan gerak benda, maka energi ini menjadi energi kinetik. Dalam hal ini, konfigurasi gerak benda bisa berupa gerak linier atau translasi. Bila benda melakukan gerak putar atau rotasi, maka gerak ini mempunyai referensi yang berupa sumbu. Baik gerak translasi maupun gerak rotasi

* Peneliti Pusat Teknologi Roket – LAPAN

akan menimbulkan energi kinetik pada benda. Energi kinetik pada benda yang berotasi ini seringkali menjadi fenomena yang sangat menarik. Ini terjadi antara lain pada penyimpanan energi pada benda yang berotasi, kendali wahana dirgantara yang menggunakan benda berotasi untuk memperoleh stabilitas gerak, dan juga peluru yang dirotasikan (*rotated bullet*) agar ujungnya tetap mengarah ke depan. Gerak rotasi menimbulkan energi kinetik dengan fungsi kuadratis terhadap kecepatannya. Energi kinetik benda yang berotasi ini proporsional dengan momen kelembaman yang dimiliki benda. Sama seperti massa benda, momen kelembaman juga memiliki nilai mutlak, yang bebas dan tidak terpengaruh oleh lingkungannya.

2.1. Prinsip Gyro, Benda Yang Berotasi

Salah satu beban-guna yang sering digunakan adalah *gyro*. Prinsip *gyro* dapat dijelaskan dibawah ini. Benda yang mengalami gerak rotasi, memiliki sifat kelembaman. Prinsip kerja *gyro* adalah berdasarkan sifat kelembaman suatu benda yang berotasi pada porosnya. Rotasi merupakan bagian dari gerakan benda yang mendapat energi dari luar. Begitu pula sebaliknya, benda yang sedang bergerak memiliki energi gerak, yang besarnya berbanding lurus dengan massa benda dan kuadrat dari kecepatannya. Energi gerak yang disebut pula sebagai energi kinetik ini, untuk benda yang bergerak lurus memiliki nilai :

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \dots\dots\dots (2-1)$$

di mana m adalah massa benda yang bergerak, dan v adalah kecepatan linier benda. Persamaan (2-1) berlaku untuk gerak translasi dari suatu benda.

Nilai energi kinetik pada persamaan (2-1) berlaku untuk benda yang bergerak linier. Untuk gerak rotasi, persamaan untuk penghitungan energi kinetik menjadi lebih kompleks. Untuk penghitungan harga energi kinetik benda dengan gerak rotasi, dapat diambil kasus benda pejal homogen yang berbentuk silinder dengan gerak rotasi yang bersumbu pada sumbu pusat silinder tersebut. Energi kinetik yang dimiliki benda itu dapat dipandang sebagai jumlah energi kinetik dari setiap komponen-komponen, bila benda yang berbentuk silinder tersebut dipecah-pecah. Energi kinetik rotasi silinder pejal yang berotasi pada porosnya adalah :

$$E_k = \frac{1}{2} \sum m_i v_i^2$$

$$E_k = \frac{1}{2} \sum_{r_i=0}^R \sum_0^{2\pi} (\rho L \Delta\phi r_i \Delta r) (\omega r_i)^2$$

$$E_k = \frac{1}{2} \rho L \omega^2 \int_0^R \left[\int_0^{2\pi} d\phi \right] r^3 dr$$

$$E_k = \pi \rho L \omega^2 \int_0^R r^3 dr$$

$$E_k = \frac{1}{4} \pi \rho L \omega^2 R^4 \dots\dots\dots (2-2)$$

- dimana :
- m_i = elemen massa yang ditinjau,
 - v_i = kecepatan tangensial dari bagian benda m_i,
 - ρ = massa jenis benda,
 - L = panjang (tinggi) silinder,
 - r_i = jarak sumbu poros ke pusat massa m_i,
 - Δφ = delta sudut,
 - Δr = delta radial sebagai tebalan dari bagian benda m_i,
 - ω = kecepatan sudut dari gerak rotasi benda,
 - R = jari-jari silinder.

Momen kelembaman dari suatu benda pejal yang berbentuk silinder adalah :

$$I_m = \frac{1}{2} M R^2 \dots\dots\dots (2-3)$$

Bila massa benda pejal itu adalah M , dimana :

$$M = \rho \pi R^2 L$$

Maka momen kelembaman persamaan (2-3) menjadi :

$$I_m = \frac{1}{2} \pi \rho L R^4 \dots\dots\dots (2-4)$$

Dari persamaan (2-2) dan (2-4), diperoleh hubungan antara energi kinetik dengan momen kelembaman, yaitu energi kinetik benda yang berotasi pada porosnya dengan kecepatan rotasi, menjadi :

$$E_k = \frac{1}{2} I_m \omega^2 \dots\dots\dots (2-5)$$

dimana :

- ρ = massa jenis benda,
- L = panjang (tinggi) silinder,
- R = jari-jari (luar) silinder,

Kalau persamaan (2-5) ini dibandingkan dengan persamaan (2-1), terlihat bahwa, terdapat kesamaan antara penghitungan energi kinetik untuk benda yang bergerak linier dengan benda yang bergerak rotasi. Ekuivalensi ini adalah antara massa dengan momen kelembaman, dan antara kecepatan translasi dan kecepatan sudut. Dari tersebut bahasan di atas, dapat difahami kenyataan, bahwa setiap benda yang berotasi mempunyai energi. Pada *gyro*, energi ini digunakan untuk menjaga arah dari sumbu rotasinya.

2.2. Penyaring Sinyal Elektronik

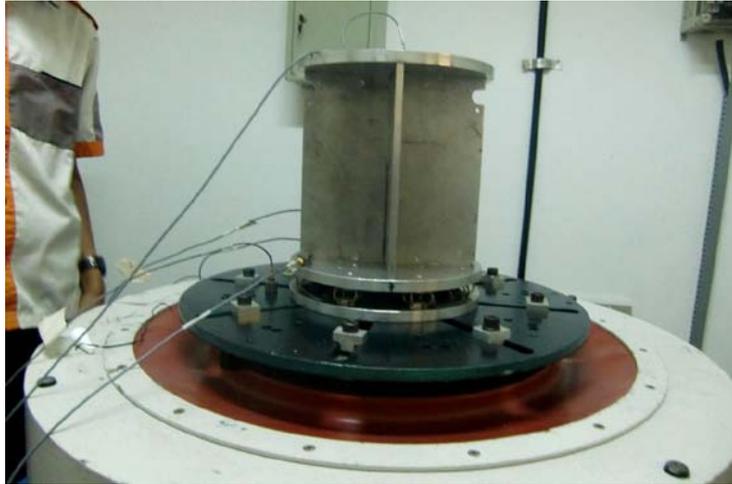
Sinyal elektrik dapat dipilah-pilah menggunakan filter. Sinyal mempunyai amplitudo dan frekuensi. Amplitudo berkorespondensi dengan tegangan atau arus (akan tetapi pada umumnya tegangan). Bila sinyal masukan filter terdiri dari banyak sinyal dengan berbagai frekuensi, maka beberapa sinyal akan ditahan oleh filter, dan sisanya diloloskan. Dari kenyataan ini, maka ada beberapa jenis filter yang sering digunakan, yaitu *low pass filter (LPF)*, *high pass filter (HPF)*, *band pass filter (BPF)*, *all pass filter (APF)*, *band eliminating (rejection) filter (BEF atau BRF)*. Untuk suatu filter, karakteristik yang menentukan jenis filter adalah tanggapan frekuensi (*frequency response*), dan frekuensi *cut off (cut off frequency)*.

Pada makalah ini, dirancang filter elektronik yang berupa filter analog. Berbeda dengan filter digital yang menggunakan komponen elektronika digital, misalnya flip-flop, mikrokontroler, gerbang logika dan sebagainya, pada filter analog hanya digunakan penguat operasional (*opamp, operational amplifier*) sebagai komponen aktif, dengan beberapa komponen pasif.

3. SIMULASI DAN PENGUKURAN PEREDAMAN GANGGUAN GETARAN

3.1. Simulasi Sumber Getaran

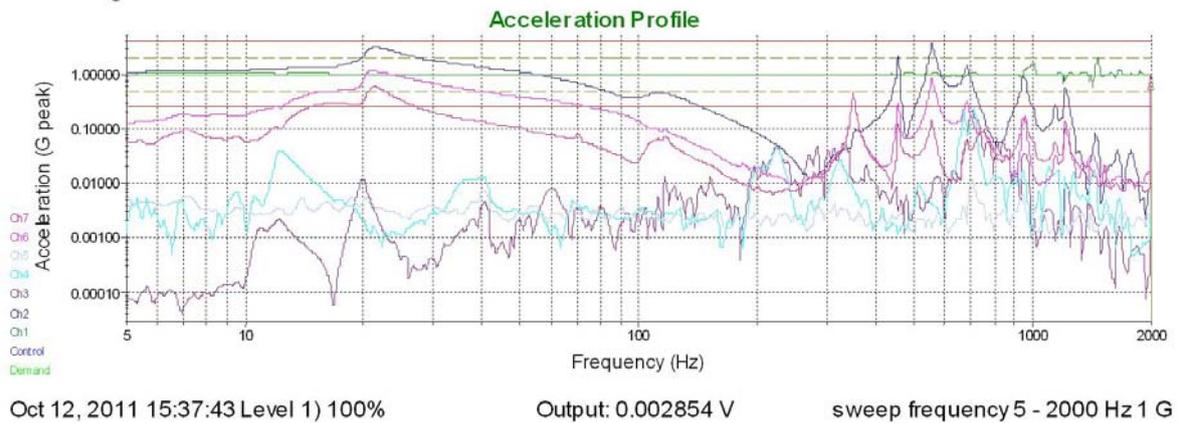
Pelaksanaan percobaan dilakukan di Sentral Teknologi Polimer (STP) – PUSPIPTEK. Sumber getaran motor roket disimulasikan menggunakan motor elektromagnetik yang ditunjukkan pada foto Gambar 3.1. Motor yang mampu dibebani 10 kg dengan implitudo 47 G ini menggetarkan anjungan tempat meletakkan beban-guna.



Gambar 3.1 : Motor elektromagnetik untuk simulasi sumber getaran.

Pada percobaan ini digunakan beban 7 kg yang diisi dengan PCB yang telah dibungkus dengan bahan peredam silicon. Sebagai sensor digunakan beberapa akselerometer yang dilekatkan pada bidang yang mau dideteksi. Hasilkan pengukuran getaran pada beberapa bagian benda uji diberikan pada kurva Gambar 3.2.

Running



Gambar 3.2 : Kurva karekteristik redaman.

Dua kurva sebelah atas pada Gambar 3.2 menunjukkan getaran pada bagian luar beban-guna. Terlihat amplitude dua kurva tersebut relatif lebih besar daripada amplitude tiga kurva yang sebelah bawah. Tiga kurva ini menyatakan getaran pada permukaan PCB yang terbungkus dengan bahan peredam. Hasil yang ditunjukkan kurva Gambar 3.2 tersebut mengindikasikan bahwa bahan peredam mampu mengeliminasi atau mengurangi getaran kira-kira sebesar 0,9 G.

3.2. Pengaruh Sumber Gangguan

Getaran motor roket akan menimbulkan beberapa sinyal dengan frekuensi dan amplitudo yang berbeda-beda. Dari pengamatan, diperoleh getaran dengan frekuensi 1700 hertz, frekuensi ini adalah frekuensi dasar gangguan, belum termasuk frekuensi harmonisnya. Getaran mekanik ini akan masuk ke *gyro* dan ikut terukur bersama dengan besaran asli yang akan diukur. Dengan demikian, *gyro* akan mendapat masukan yang berupa kecepatan sudut dari getaran mekanik dan olah gerak (*attitude*) roket. Ini dapat digambarkan dengan diagram blok pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Interferensi gangguan dengan kecepatan sudut pada gyro.

Pada suatu alat ukur, bila besaran yang diukur melebihi kemampuan ukur dari instrumen, dapat menimbulkan kerusakan. Misalnya voltmeter yang mempunyai daerah pengukuran sampai 25 volt, seringkali terbakar bila digunakan untuk mengukur tegangan yang lebih tinggi, misalnya 220 volt. Untuk *all pass filter* yang digunakan pada roket, kurang jelas, apakah akan rusak atau tidak bila digunakan untuk mengukur kecepatan sudut yang lebih tinggi. Yang jelas, dalam keadaan demikian, yaitu kecepatan sudut yang diukur melampaui batas, maka hasil pengukuran tidak akan akurat lagi. Dengan adanya dua sumber masukan yang diilustrasikan pada Gambar 3.3 diatas, maka perlu ditinjau bila ada nilai yang tidak sesuai dengan kemampuan instrumen ukur. Dalam keadaan yang tidak sesuai (*matching*) ini, maka harus dilakukan koreksi. Pembahasan mengenai dua sumber tersebut disajikan pada sub-bab dibawah ini.

3.3. Kecepatan Sudut dari Gangguan

Getaran roket terdiri dari banyak sinyal, yang dapat dinyatakan dengan :

$$e(t) = e_1(t) + e_2(t) + \dots + e_n(t) \dots\dots\dots (3-1)$$

dimana :

$$e(t) = \text{getaran}$$

$$e_1(t) = A_1 \sin (\omega_1 t + \theta_1)$$

$$e_n(t) = A_n \sin (\omega_n t + \theta_n)$$

Deferensiasi e(t) pada persamaan (3-1) akan menghasilkan kecepatan, yaitu :

$$v(t) = \dot{e}(t) = \dot{e}_1(t) + \dot{e}_2(t) + \dots + \dot{e}_n(t) \dots\dots\dots (3-2)$$

Dimana :

$$v(t) = \text{Kecepatan akibat getaran}$$

$$\dot{e}_1(t) = \omega_1 A_1 \cos (\omega_1 t + \theta_1)$$

$$\dot{e}_n(t) = \omega_n A_n \cos (\omega_n t + \theta_n)$$

Kecepatan v(t) pada persamaan (3-2) merupakan kecepatan linier sesaat, yang terjadi terutama pada daerah nozel. Untuk memperoleh nilai kecepatan sudut, maka harus dikonversikan menjadi :

$$\dot{\phi}(t) = \dot{\phi}_1(t) + \dot{\phi}_2(t) + \dots + \dot{\phi}_n(t)$$

Dimana :

$$\dot{\phi}(t) = \text{Kecepatan akibat getaran}$$

$$\dot{\phi}_1(t) = \omega_1 \cos (\omega_1 t + \theta_1) \tan^{-1} \frac{A_1}{L}$$

$$\dot{\phi}_n(t) = \omega_n \cos (\omega_n t + \theta_n) \tan^{-1} \frac{A_n}{L}$$

L = jarak antara nozel ke titik massa roket.

Dengan asumsi komponen amplitudo getaran jauh lebih kecil dari L, maka :

$$\dot{\phi}_1(t) = \frac{A_1 \omega_1}{L} \cos(\omega_1 t + \theta_1)$$

$$\dot{\phi}_n(t) = \frac{A_n \omega_n}{L} \cos(\omega_n t + \theta_n)$$

Meskipun kecepatan sudut akibat gangguan getaran tersebut merupakan fungsi polinomial, pada umumnya hanya ada satu gelombang getaran saja yang dominan, sedangkan suku lainnya dari polinomial tersebut mempunyai amplitudo yang relatif jauh lebih kecil, sehingga dapat diabaikan. Diasumsikan gelombang getaran tersebut adalah sinusoid dengan amplitudo A dan frekuensi f, sehingga kecepatan sudut gangguan menjadi :

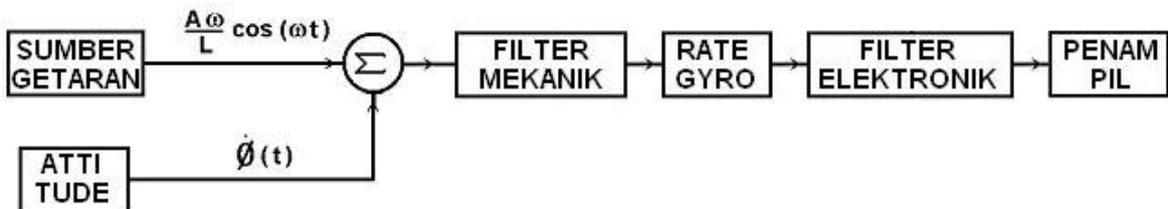
$$\dot{\phi}(t) = \frac{2\pi f A}{L} \cos(2\pi f t)$$

$$\dot{\phi}(t) = \frac{A \omega}{L} \cos(\omega t) \dots\dots\dots (3-3)$$

Dari persamaan (3-3) diatas terlihat bahwa frekuensi getaran adalah proporsional dengan kecepatan sudut gangguan. Oleh karena itu, untuk mengeliminasi gangguan akibat getaran tersebut dapat digunakan tapis lolos rendah (*LPF, low pass filter*).

3.3. Aplikasi Peredam Mekanik dan Elektronik

Pada bab 3 telah dijelaskan bahwa masukan yang terukur pada gyro terdiri dari dua sumber, yaitu getaran mekanik yang menjadi sumber gangguan, dan kecepatan sudut dari olah gerak roket sebenarnya yang akan diukur. Oleh karena itu, untuk mengeliminasi getaran roket tersebut agar tidak masuk ke gyro, tidak dapat digunakan filter elektronik melainkan harus berupa filter mekanik. Pemasangan filter mekanik dan elektronik pada gyro dapat ditunjukkan pada diagram blok Gambar 3.4.



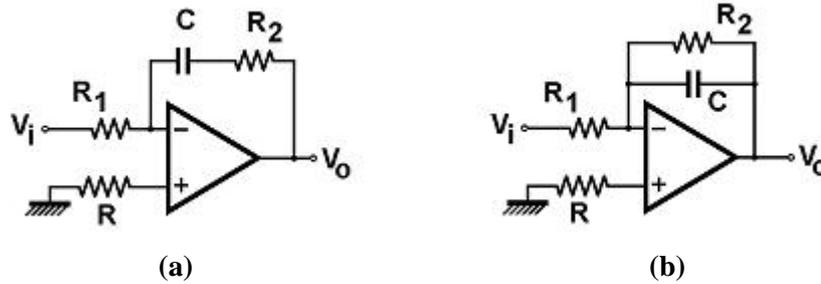
Gambar 3.4. Peredam mekanik dan elektronik untuk menekan gangguan akibat getaran.

Terlihat dari diagram blok Gambar 3.4 bahwa filter mekanik yang dipasang antara badan roket dan gyro berfungsi untuk menyaring sinyal agar masukan ke gyro sesuai, dan agar tidak terjadi kerusakan pada gyro bila sinyal masukannya terlalu ekstrim atau *over valued*. Filter elektronik terutama digunakan agar diperoleh hasil pengukuran dengan penyimpangan yang minim, untuk selanjutnya dapat ditampilkan pada *display* atau ditransmisikan melalui *transmitter Tx*.

4. PERANCANGAN

4.1. Low Pass Filter

Diantara semua jenis filter, yang paling sering digunakan adalah *low pass filter (LPF)*. Filter yang digunakan pada Gambar 3.4, baik yang mekanik maupun elektronik, adalah *low pass filter*. Penelitian ini mencakup perancangan filter elektronik, sehingga yang dimaksud dengan *low pass filter* pada bab ini adalah filter elektronik. *Low pass filter* menjadi dasar dari perancangan filter lainnya. Sesuai dengan namanya, *low pass filter*, meneruskan sinyal dengan frekuensi rendah dan menahan sinyal dengan frekuensi tinggi. Komponen aktif yang digunakan dalam perancangan filter ini adalah penguat operasional. *Low pass filter* orde 1 ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. *Low pass filter* orde 1.
(a) RC seri, (b) RC paralel.

Dari Gambar 4.1 (a) dapat diperoleh tegangan keluaran filter :

$$v_o(s) = -\frac{R_2 + \frac{1}{sC}}{R_1} v_i(s)$$

$$v_o(s) = -\frac{sCR_2 + 1}{sCR_1} v_i(s) \dots\dots\dots (3-4)$$

Dari persamaan (3-4) diatas dapat diperoleh fungsi alih filter, yaitu :

$$FA = -\frac{sCR_2 + 1}{sCR_1} \dots\dots\dots (3-5)$$

Kurva tanggapan frekuensi (*frequency response*) dari filter pada persamaan (3-5) dapat dibagi dalam dua ruas, yaitu ruas turun dan ruas datar. Ruas turun menggambarkan kurva dari persamaan

$$|FA|_{s \rightarrow 0} = \left| \frac{-1}{sCR_1} \right| = \frac{1}{\omega CR_1}$$

Sedangkan ruas datar menggambarkan kurva dari persamaan

$$|FA|_{s \rightarrow \infty} = \left| -\frac{R_2}{R_1} \right| = \frac{R_2}{R_1}$$

Tanggapan frekuensi dari *low pass filter* Gambar 4.1 (a) tersebut digambarkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Tanggapan frekuensi dari filter pada Gambar 4.1 (a).

Tegangan keluaran filter Gambar 4.1 (b) dapat diperoleh:

$$v_o(s) = -\frac{R_2}{sCR_1 R_2 + 1} v_i(s) \dots\dots\dots (3-6)$$

Dari persamaan (3-6) diatas dapat diperoleh fungsi alih filter, yaitu :

$$FA = - \frac{R_2}{R_1 (s C R_2 + 1)} \dots\dots\dots (3-7)$$

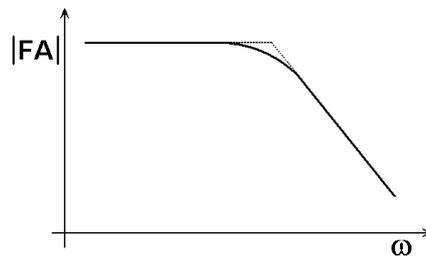
Kurva tanggapan frekuensi (*frequency response*) dari filter pada persamaan (3-7) dapat dibagi dalam dua ruas, yaitu ruas datar dan ruas turun. Ruas datar menggambarkan kurva dari persamaan

$$|FA|_{s \rightarrow 0} = \left| \frac{-R_2}{R_1 (s C R_2 + 1)} \right| = \frac{R_2}{R_1}$$

Sedangkan ruas turun menggambarkan kurva dari persamaan

$$|FA|_{s \rightarrow \infty} = \left| - \frac{R_2}{R_1 (s C R_2 + 1)} \right| = \frac{1}{\omega C R_1}$$

Tanggapan frekuensi dari *low pass filter* Gambar 4.1 (b) tersebut digambarkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Tanggapan frekuensi dari filter pada Gambar 4.1 (b).

Cut off frequency dari *low pass filter* Gambar 4.1. diperoleh dengan ekivalensi persamaan untuk ruas datar dan ruas turun, yaitu,

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{1}{\omega_c C R_1}$$

$$\omega_c = \frac{1}{C R_2}$$

Atau :

$$f_c = \frac{1}{2 \pi C R_2}$$

4.2. Penentuan Nilai Cut Off Frequency

Pada bab 4.1 diatas telah dibahas dua jenis *low pass filter*, yaitu jenis RC seri dan RC paralel. Dari dua filter ini perlu ditentukan yang sesuai dengan kebutuhan untuk digunakan pada *gyro*. Sebagaimana telah digambarkan pada Gambar 3.3 dan 3.2, bahwa masukan yang terukur oleh *gyro* terdiri dari kecepatan sudut dari getaran yang merupakan gangguan dan kecepatan sudut roket yang akan diukur. Fungsi filter adalah untuk mengeliminir frekuensi tinggi dari getaran dan meneruskan frekuensi rendah. Sinyal dengan frekuensi rendah yang diteruskan ini merupakan pengukuran kecepatan sudut roket. Oleh karena itu, filter yang diperlukan adalah yang mempunyai penguatan konstan pada frekuensi rendah. Dengan demikian, berarti yang cocok adalah *low pass filter* pada Gambar 4.1 (b), yaitu dengan rangkaian RC paralel. Ini dengan pertimbangan bahwa filter dengan RC paralel mempunyai kurva yang mendatar (*flat*) untuk frekuensi rendah, sehingga dengan demikian pengukuran sinyal tidak mengalami distorsi.

Untuk menghitung nilai *cut off frequency*, maka perlu diambil rata-rata antara frekuensi berubahnya arah gerak roket dengan frekuensi getaran gangguan. Bila diambil nilai ini berturut-turut adalah 4 dan 1700 hertz, maka akan diperoleh nilai *cut off frequency* :

$$f_c = 10^{(\log 4 + \log 1700)/2}$$

$$f_c = 82 \text{ hertz}$$

Untuk filter pada Gambar 4.1.(b), dengan mengambil nilai komponen R_1 dan R_2 sebesar 1M3, dengan kapasitor $C=390 \mu\text{F}$, maka akan diperoleh *cut off frequency* yang sesuai, tanpa adanya redaman pada keluaran *gyro*.

5. PEMBAHASAN

Dari pengujian seperti ditunjukkan kurva pada Gambar 3.2, dan dari penelitian yang dilakukan, terbukti bahwa upaya eliminasi gangguan dapat meredam getaran yang relative baik, yaitu sampai 0,9 G. Perlu diingat bahwa percepatan yang diperoleh pada pengukuran disini adalah percepatan getaran sebagai simulasi getaran motor roket. Percepatan translasi roket umumnya mempunyai nilai yang lebih besar. Sebagai ilustrasi, getaran pada simulasi ini mempunyai percepatan 1 G, sedangkan beberapa roket yang telah diluncurkan LAPAN mempunyai percepatan translasi yang mencapai diatas 10 G. Ini dapat menimbulkan beberapa akibat, antara lain kerusakan komponen beban-guna, maupun terganggunya system telemetri. Oleh karena itu, pengujian percepatan translasi ini perlu dilakukan, dan ini tidak kalah penting dengan pengujian percepatan getaran. Begitu pula, pengujian percepatan translasi ini membutuhkan peralatan yang lebih sederhana daripada pengujian percepatan getaran. Simulasi percepatan translasi dapat dilakukan dengan menggunakan meja putar yang digerakkan menggunakan motor penggerak. Percepatan sentripetal yang timbul dari putaran meja ini digunakan untuk pengujian percepatan translasi untuk instrumen pada beban-guna.

6. KESIMPULAN

Gangguan getaran motor roket dapat mengganggu instrumen yang digunakan untuk control, sensor, dan instrumen elektronik lainnya. Salah satu yang rawan terganggu adalah *gyro*, yang digunakan pengukuran kecepatan sudut pembelokan arah roket. Pengukuran dengan menggunakan *gyro* ini sering mendapat interferensi gangguan yang berasal dari getaran mekanik. Gangguan ini dapat dikurangi dengan menggunakan filter elektronik, yang dalam hal ini digunakan *low pass filter* analog. Jenis filter yang sesuai dengan kebutuhan *gyro* yang digunakan adalah filter yang menggunakan penguat operasional, dengan impedansi keluaran yang terdiri dari kapasitor dan resistor yang dihubungkan parallel. Dari perhitungan yang diperoleh dari pengamatan dan beberapa asumsi, diperoleh frekuensi penggal 82 hertz. Filter ini dapat diwujudkan dengan penguat operasional 741 dengan nilai resistor 1M3 dan kapasitor 390 μF . Disamping itu peredaman terhadap getaran ini dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai bahan peredam.

DAFTAR PUSTAKA

1. Couhlin, Robert R, Frederick F. Driscoll, Herman Widodo Sumitro, "*Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linier*", Penerbit Erlangga, Jakarta. 1985.
2. Griffin, Michael D. & French, James R., "*Space Vehicle Design*", AIAA Education Series, Washington, DC. 1991.
3. Hughes, Frederick W, Ignatius Hartono, "*Panduan OPAMP*", PT. Elex Media Komputindo, Jakarta. 1990.
4. Labarrere, M. & Gimonet, B., "*Le Filtrage et ses applications*", SUP'AERO, ENSAE, Toulouse. 1989.
5. Radix, J.C., "*Gyroscopes et Gyrometres*", CEPADUES EDITIONS, 111, Rue Nicalas Vauquelin – 31300 Toulouse. 1988.

6. Roosink, A., "*300 circuits*", Elektor Publishers Ltd., Netherlands. 1989.
7. Sutisno, "*Rangkaian Elek-tronika*", Penerbit Erlangga, Jakarta. 1995.
8. Wood, K. D., "*Aerospace vehicle Design*", Johnson Publishing Company, Boulder, Colorado. 1986.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

DATA PRIBADI:

Nama : Sutisno
Tempat/Tgl. Lahir : Ponorogo, 17 Mei 1947
Pangkat / Gol. : Pembina Utama – IV/e
Jabatan : Peneliti Utama
Alamat : Kompl. LAPAN B -16, Rumpin, Bogor
Telepon & HP : (021) 71060458 & 081389829416
E-mail : bogor35@yahoo.com

DATA PENDIDIKAN :

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

PENGALAMAN:

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