

ANALISIS RESPONS DINAMIK DUDUKAN GPS RX-450

(DYNAMIC RESPONSE ANALYSIS OF GPS STRUCTURE RX-450)

Shandi Prio Laksono, Hakiki, Andreas Prasetya Adi

Bidang Kendali dan Telemetri - Pustekroket LAPAN

Pos El : shandi.priolaksono@gmail.com, haqq.lapan@gmail.com, and741@gmail.com

Abstrak

Pembebanan dinamik merupakan fokus utama pada setiap wahana terbang dengan berbagai jenis kondisi pembebanan mulai dari pembebanan periodik sampai getaran acak dan kejut [1]. Beban dinamik terjadi dengan dimulainya pembakaran propelan. Salah satu bagian yang mengalami beban dinamik adalahudukan GPS yang digunakan pada RX-450. Dudukan GPS berfungsi sebagai rumah bagi GPS. Penting untuk mengetahui respon terhadap pembebanan dinamik yang dialami oleh dudukan GPS. Oleh karena itu pada studi ini dilakukan analisa frekuensi dan analisa modal. Analisa frekuensi dan analisa modal dilakukan melalui metode elemen hingga menggunakan fitur simulation pada Solidworks 2013. Analisa frekuensi menghitung frekuensi pribadi dan mode shape yang terkait. Analisa modal dilakukan untuk mengetahui respon dudukan GPS terhadap beban dinamik yang terjadi padanya.

Hasil analisa frekuensi menunjukkan 4 frekuensi pribadi terkecil berkisar 3.882 – 12.009 Hz. Dari analisa modal didapat perpindahan maksimum yang terjadi adalah $4,5 \times 10^{-6}$ mm. Sedangkan tegangan maksimum yang terjadi adalah $3,2 \times 10^3$ N/m². Dari informasi mengenai perpindahan dan tegangan yang terjadi pada dudukan GPS, dapat diambil kesimpulan bahwa desain dudukan GPS dapat digunakan untuk RX-450.

Kata Kunci : Dudukan GPS, frekuensi pribadi, mode shape, perpindahan, tegangan

Abstract

Dynamic loading is the main focus for every launch vehicle starts with periodic loading to random vibration and shock [1]. Dynamic loading occurs with the start of propellant combustion. One of part that experiences this loading is GPS structure for RX-450. The main function of GPS structure is as housing for GPS. It is important to know GPS structure response to dynamic loading. Therefore, in this study will discuss about frequency and modal time analysis. Frequency and modal analysis was carried out using finite element method by simulation in Solidworks 2013. Frequency analysis was carried out to find its natural frequency and mode shape. Then, modal analysis for knowing response of GPS structure caused by dynamic loading.

Frequency analysis result shows that the lowest 4 natural frequency from 3.882 – 12.009 Hz. From modal analysis maximum displacement is $4,5 \times 10^{-6}$ mm. Maximum von Mises stress is $3,2 \times 10^3$ N/m². From displacement and stress information, we can conclude that GPS structure design can used for RX-450.

Key Words : GPS structure, natural frequency, mode shape, displacement, stress

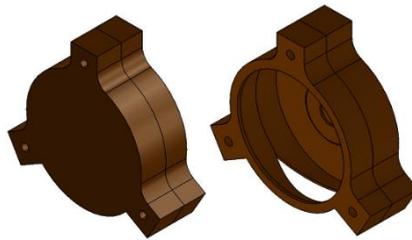
1. PENDAHULUAN

Saat ini, GPS (*Global Positioning System*) dianggap sebagai teknologi *tracking* yang layak dan menjanjikan, sejalan dengan program roket sonda di eropa. Dibandingkan dengan teknologi radar konvensional, GPS memberikan akurasi yang lebih baik, selain ketersediaan informasi waktu dan navigasi [2]. GPS sebagai bagian dari *payload* roket RX-450 harus dijaga kedudukannya dan dilindungi dari sumber kerusakan. Roket RX-450 merupakan salah satu roket sonda yang sedang dikembangkan oleh Pusat Teknologi Roket LAPAN. Menyadari pentingnya fungsi GPS pada roket ini, maka perlu didesain dan dibuat suatu *part* yang mampu menjaga kedudukan dan melindunginya. *Part* ini selanjutnya kita sebut sebagai dudukan GPS. Dudukan GPS dipasang pada bagian atas tabung roket. Gambar 1-1, menunjukkan GPS yang digunakan pada roket RX-450.



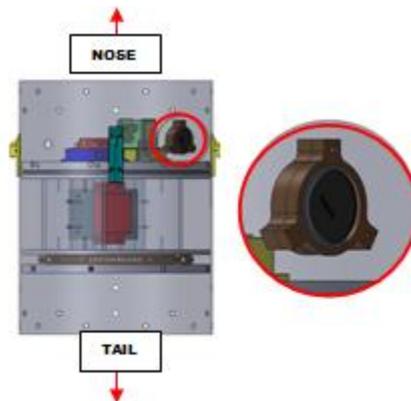
Gambar 1-1 GPS RX-450

Pada gambar 1-2, kita dapat melihat desainudukan GPS yang didesain sebagai tempat GPS. Dudukan GPS terdiri dari 2 *part* yang disatukan menggunakan 3 buah baut. Kedua *part* ini dibuat dari material Alumunium 6061 dengan diameter 87 mm dan tebal total 26 mm.



Gambar 1-2 Desain Dudukan GPS [3]

Pada gambar 1-3 kita dapat melihat posisi dudukan GPS dan *assembly* dudukan GPS dengan GPS. Dudukan GPS dipasang menempel pada permukaan tabung muatan. Tabung muatan RX-450 memiliki dimensi : diameter luar 450 mm dan tinggi 600 mm.



Gambar 1-3 Posisi Dudukan GPS Terhadap Tabung Muatan Roket [3]

1.1. TUJUAN

Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Mengetahui kekuatan dudukan GPS terhadap beban yang diterimanya.
- Mengetahui frekuensi pribadi yang dimiliki oleh dudukan GPS.
- Mengetahui respon dudukan GPS terhadap beban yang diterimanya.

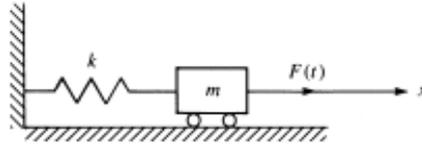
1.2. BATASAN MASALAH

Pada makalah ini ditetapkan beberapa batasan dalam penelitian antara lain :

- Objek yang dianalisa adalah dudukan GPS.
- Analisa dilakukan berdasarkan hasil simulasi.
- Simulasi dilakukan menggunakan *software* Solidworks 2013
- Analisa yang dibahas adalah analisa frekuensi dan analisa *modal*.

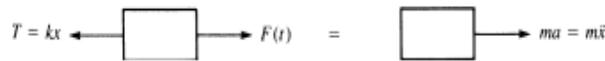
1.3. TINJAUAN PUSTAKA

Getaran atau vibrasi merupakan gerak bolak – balik (osilasi) pada sistem mekanik [4]. Sebagai ilustrasi, gambar 1-4 menunjukkan sebuah sistem massa – pegas yang mengalami gaya tergantung – waktu $F(t)$. k menunjukkan kekakuan pegas atau konstanta dan m menunjukkan massa sistem.



Gambar 1-4 Ilustrasi Sistem Massa - Pegas

Diagram benda – bebas untuk massa ditunjukkan pada gambar 1-5. Gaya pegas $T = kx$ dan gaya yang diberikan $F(t)$ pada benda dan istilah massa dikalikan percepatan ditunjukkan secara terpisah.



Gambar 1-5 Diagram Benda Bebas

Dengan menerapkan hukum kedua Newton, $f = ma$ pada massa, kita mendapatkan persamaan gerak dalam arah x sebagai berikut :

$$F(t) - kx = m\ddot{x} \quad (1)$$

Dimana titik pada persamaan (1) menyatakan diferensial terhadap waktu, yaitu $(\cdot) = \frac{d}{dt}$ Dengan menuliskan kembali ke dalam bentuk standar, persamaan (1) berubah menjadi

$$m\ddot{x} + kx = F(t) \quad (2)$$

Persamaan (2) diselesaikan dengan menganggap massa mengalami getaran bebas, sehingga $F(t) = 0$ dan dengan mengasumsikan $x = x_m \sin(\omega t)$ dimana x_m adalah amplitudo gerak. Persamaan 2 berubah menjadi

$$[k - \omega^2 m]x_m \sin(\omega t) = 0 \quad (3)$$

Atau

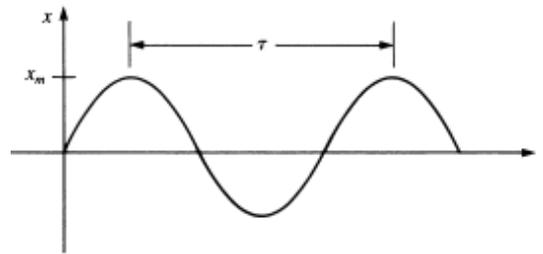
$$[k - \omega^2 m] = 0 \quad (4)$$

sehingga

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (5)$$

Dimana ω disebut dengan frekuensi pribadi sirkular dari sebuah massa yang mengalami getaran bebas, yang dinyatakan dalam satuan radian per sekon (rad/s) atau putaran per menit (rpm). Sehingga, frekuensi pribadi sirkular menyatakan jumlah siklus per satuan waktu yang dialami oleh sebuah massa. Dari persamaan (5) ω hanya tergantung pada kekakuan dan massa benda.

Gerakan yang didefinisikan melalui persamaan (3) disebut gerak harmonik sederhana. Kurva perpindahan terhadap waktu untuk gerak harmonik sederhana diwakili oleh kurva sinus yang ditunjukkan pada gambar 1-6.



Gambar 1-6 Kurva Perpindahan Terhadap Waktu

Interval waktu yang diperlukan oleh sebuah massa untuk menyelesaikan satu siklus gerak disebut perioda yang dinyatakan dengan lambang τ dan dinyatakan dengan

$$\tau = \frac{2\pi}{\omega} \quad (6)$$

Dimana τ dinyatakan dalam sekon. Sedangkan frekuensi dalam Hertz ($\text{Hz} = 1/\text{s}$)

$$f = \frac{1}{\tau} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (7)$$

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan metode simulasi yang berdasar pada metode elemen hingga. Metode elemen hingga merupakan metode numerik untuk penyelesaian masalah – masalah kerekayasaan dan matematika [5]. Metode ini dapat diterapkan pada sembarang bentuk, dimensi dan material.

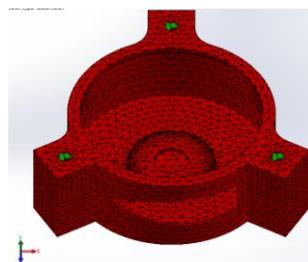
Secara garis besar, langkah – langkah yang dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut :

- a. Mengumpulkan data – data seperti dimensi, material, beban yang diterima (berasal dari kurva prediksi *G-Load* roket).
- b. Melakukan simulasi pada *software* Solidworks 2013 berdasarkan data yang diperoleh.
- c. Menjalankan solusi simulasi.
- d. Proses analisa dilakukan dengan bantuan *software* Solidworks 2013.
- e. Analisa yang dibahas adalah analisa frekuensi dan analisa *modal*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahap pertama adalah membuat model 3D menggunakan *software* CAD (*Computer – Aided Design*) yaitu Solidworks 2013. Sifat inersia utama dudukan GPS seperti massa, momen inersia, pusat massa, volume, luas permukaan dan lainnya dihitung. Massa *assembly* dudukan GPS adalah $m = 83$ gram dan volumenya adalah $v = 30.730 \text{ mm}^3$.

Untuk menghasilkan analisa yang akurat, diperlukan elemen yang banyak [6]. Setelah menetapkan material yang digunakan, menentukan kondisi batas (*restraint* dan *load*), tahap selanjutnya adalah proses *meshing* [7]. Model dudukan GPS *dimesh* menggunakan *curvature base mesh* (ukuran elemen maksimum 3 mm, elemen minimum 0,5 mm, dan *growth ratio* 1,5). Jumlah keseluruhan elemen dan *node* yang dihasilkan adalah 20.953 dan 35.865. Bagian yang berwarna hijau menunjukkan *restraints*. *Mesh* yang dihasilkan ditunjukkan pada gambar 3-1.



Gambar 3-1 Dudukan GPS yang sudah *dimesh*

Simulasi dijalankan setelah *mesh* dihasilkan, untuk mendapatkan solusi. *Numerical solver* tipe *direct sparse* digunakan dalam menjalankan simulasi.

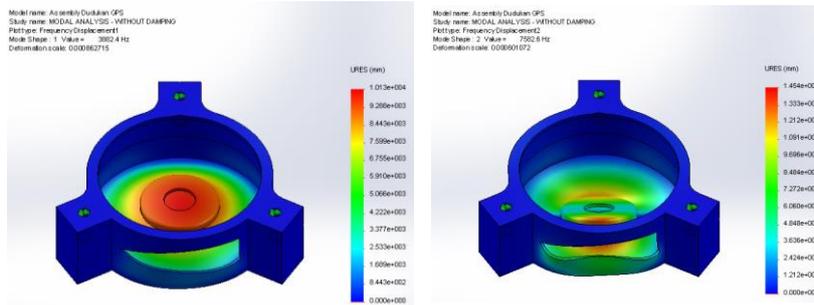
3.1. ANALISA FREKUENSI

Analisa frekuensi dilakukan untuk mengetahui frekuensi pribadi dudukan GPS dan mengevaluasi kemungkinan terjadinya resonansi [8]. Pada studi ini, hanya 4 frekuensi pribadi terkecil yang dihitung. Hasil yang didapat (tabel 3-1) menunjukkan bahwa frekuensi *fundamental* yang besar yaitu 3.882 Hz. Pada tabel tersebut memuat 4 frekuensi pribadi pertama dudukan GPS. Kita dapat melihat kerapatan frekuensi - 4 frekuensi yang bekerja dalam interval sekitar 8.100 Hz.

Tabel 3-1 Frekuensi Pribadi GPS

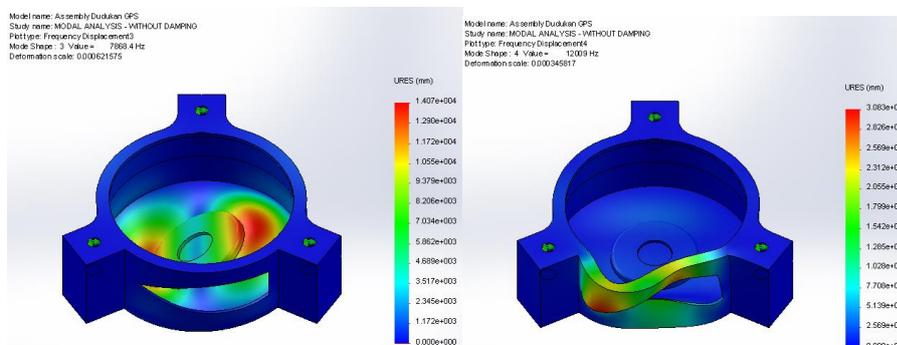
No	Frekuensi Pribadi (Hz)
1	3.882
2	7.582
3	7.868
4	12.009

Mode shape yang didapat, ditunjukkan pada gambar 3-2 sampai dengan gambar 3-3. Warna merah menunjukkan daerah dengan resultan perpindahan maksimum sedangkan daerah yang berwarna biru menunjukkan daerah dengan resultan perpindahan minimum. Pada gambar 3-2 menunjukkan *mode shape* 1 dan 2. Untuk *mode shape* 1 dengan frekuensi pribadi 3.882 Hz, tampak resultan perpindahan maksimum terjadi satu daerah yaitu di bagian tengah *part* 1 (bawah). Sedangkan pada *mode shape* 2 dengan frekuensi pribadi 7.582 Hz, resultan perpindahan maksimum terjadi pada dua daerah, berpindah menjauh ke arah luar dari bagian tengah *part* 1 (bawah).



Gambar 3-2 Mode Shape 1 dan 2

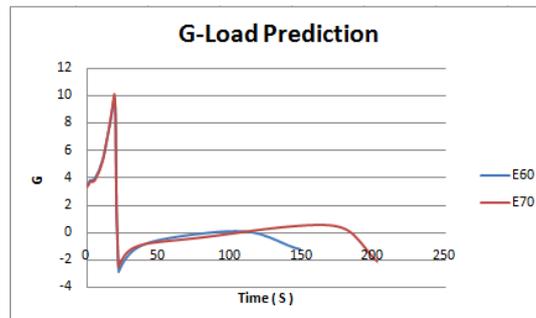
Gambar 3-3 menunjukkan *mode shape* 3 dan 4. Hampir sama seperti *mode shape* 2, untuk *mode shape* 3 dengan frekuensi pribadi 7.868 Hz, tampak resultan perpindahan maksimum terjadi pada bagian tengah *part* 1 (bawah). Sedangkan pada *mode shape* 4 dengan frekuensi pribadi 12.009 Hz, mengalami resultan perpindahan maksimum terjadi pada bagian atas *part* 2 (atas).



Gambar 3-3 Mode Shape 3 dan 4

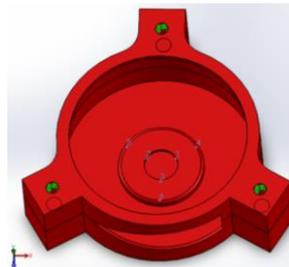
3.2. ANALISA MODAL

Analisa *modal* dilakukan untuk mengetahui respon dukungan GPS terhadap beban dinamik yang terjadi padanya. Analisis ini mengasumsikan material bersifat linear dan pembebanan bersifat bergantung terhadap waktu [9]. Profil prediksi *G-load*, digunakan sebagai input untuk *external load* dalam simulasi. Kurva prediksi *G-load* ditunjukkan pada gambar 3-4. Kurva dengan elevasi 70° dipilih untuk digunakan dalam simulasi.



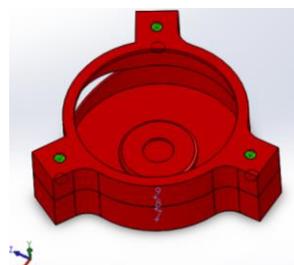
Gambar 3-4 Kurva Prediksi *G-Load* RX-450 [10]

Untuk mendapatkan informasi mengenai respon maka perlu dibuat beberapa titik untuk merepresentasikan sebagian daerah yang mengalami beban dinamik. Gambar 3-5 sampai gambar 3-7 menunjukkan beberapa titik untuk mendefinisikan respon perpindahan dan tegangan terhadap waktu yang dialami oleh dukungan GPS. Ada 15 titik yang dibuat dan diletakkan pada posisi tertentu. Titik 1 sampai dengan titik 6 diletakkan pada *part 1* (bawah). Titik 1 sampai dengan titik 3 dibuat dengan jarak yang sama, begitu juga dengan titik 4 sampai dengan titik 6. Gambar 3-5 menunjukkan posisi titik 1-6.



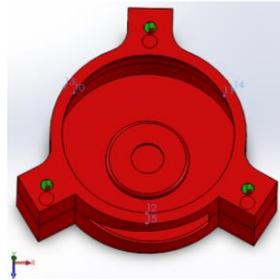
Gambar 3-5 Posisi Titik 1-6

Titik 7 sampai dengan titik 9 diletakkan pada *part 1* dan 2. Titik – titik dibuat searah dengan sumbu Y (vertikal) benda. Titik 7 dan 8 pada *part 1* (bawah) sedangkan titik 9 pada *part 2* (atas). Jarak satu titik ke titik selanjutnya dibuat sama. Gambar 3-6 menunjukkan posisi titik 7-9.



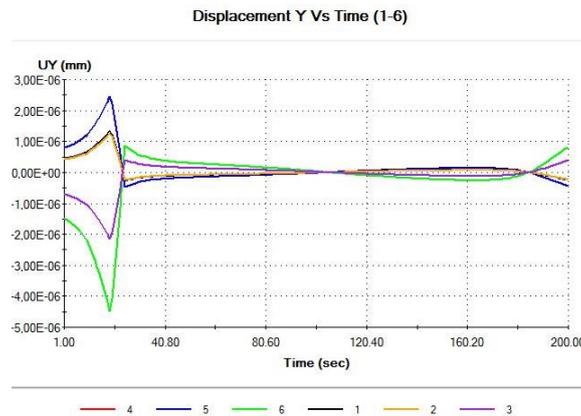
Gambar 3-6 Posisi Titik 7-9

Titik 10 sampai dengan titik 15 diletakkan pada *part 2* (atas). Titik 10 sampai dengan titik 12 dibuat dengan jarak yang sama, begitu juga dengan titik 13 sampai dengan titik 15. Gambar 3-7 menunjukkan posisi titik 10-15.



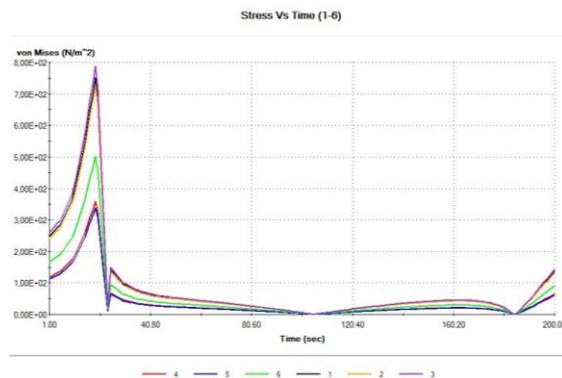
Gambar 3-7 Posisi Titik 10-15

Grafik respon perpindahan arah Y (vertikal) benda, untuk titik 1-6 ditampilkan pada gambar 3-8. Pada grafik tersebut tampak bahwa titik 6 mengalami amplitudo perpindahan arah Y benda, paling besar yaitu sekitar $-4,5 \times 10^{-6}$ mm. Sedangkan titik 1 dan 2 mengalami perpindahan yang sama besarnya.



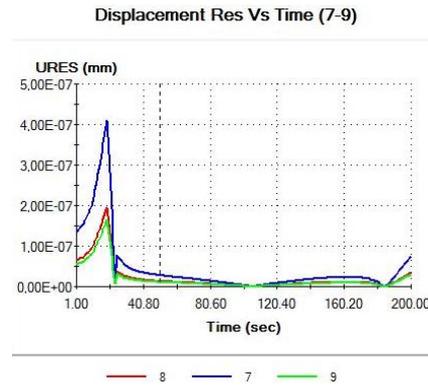
Gambar 3-8 Grafik Respon Perpindahan Terhadap Waktu (Titik 1-6)

Grafik respon tegangan terhadap waktu ditampilkan pada gambar 3-9. Pada grafik tersebut tampak bahwa titik 3 mengalami amplitudo tegangan paling besar yaitu mencapai 8×10^2 N/m². Sedangkan titik 5 mengalami amplitudo tegangan paling kecil yaitu sekitar $3,3 \times 10^2$ N/m².



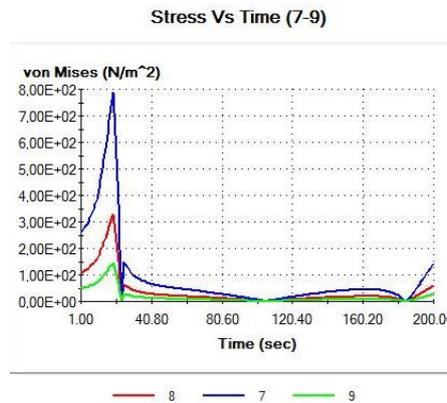
Gambar 3-9 Grafik Respon Tegangan Terhadap Waktu (Titik 1-6)

Grafik respon resultan perpindahan untuk titik 7-9 ditampilkan pada gambar 3-10. Pada grafik tersebut tampak bahwa titik 7 mengalami amplitudo resultan perpindahan paling besar yaitu sekitar 4×10^{-7} mm. Sedangkan amplitudo resultan perpindahan paling kecil dialami oleh titik 9 dengan nilai $1,5 \times 10^{-7}$ mm.



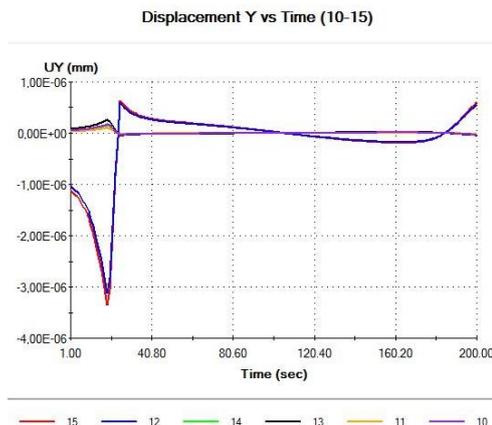
Gambar 3-10 Grafik Respon Perpindahan Terhadap Waktu (Titik 7-9)

Grafik respon tegangan terhadap waktu ditampilkan pada gambar 3-11. Pada grafik tersebut tampak bahwa titik 7 mengalami amplitudo tegangan paling besar yaitu sekitar $8 \times 10^2 \text{ N/m}^2$. Sedangkan titik 9 mengalami amplitudo tegangan paling kecil yaitu sekitar $1,2 \times 10^2 \text{ N/m}^2$.



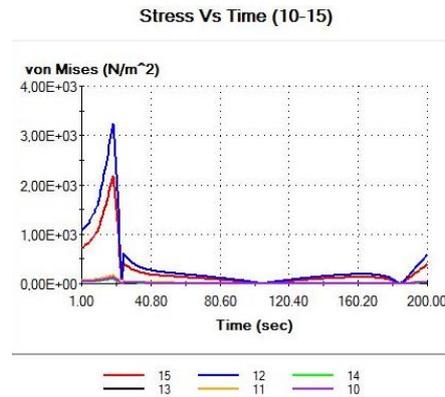
Gambar 3-11 Grafik Respon Tegangan Terhadap Waktu (Titik 7-9)

Grafik respon perpindahan (arah Y) benda, untuk titik 10-15 ditampilkan pada gambar 3-12. Pada grafik tersebut tampak bahwa titik 15 mengalami amplitudo perpindahan arah Y benda, paling besar yaitu sekitar $-3,3 \times 10^{-6} \text{ mm}$. Sedangkan amplitudo perpindahan arah Y benda, paling kecil dialami oleh titik 11 sebesar $1 \times 10^{-7} \text{ mm}$.



Gambar 3-12 Grafik Respon Perpindahan Terhadap Waktu (Titik 10-15)

Grafik respon tegangan terhadap waktu ditampilkan pada gambar 3-13. Pada grafik tersebut tampak bahwa semua titik 12 mengalami amplitudo tegangan paling besar yaitu sekitar $3,2 \times 10^3 \text{ N/m}^2$. Sedangkan titik 10 mengalami amplitudo tegangan paling kecil yaitu sekitar $1,1 \times 10^2 \text{ N/m}^2$.



Gambar 3-13 Grafik Respon Tegangan Terhadap Waktu (Titik 10-15)

4. KESIMPULAN

Dudukan GPS telah dianalisa menggunakan simulasi elemen hingga. Melalui analisa frekuensi dihitung 4 frekuensi pribadi pertama. Hasil menunjukkan kerapatan frekuensi pribadi yang rendah. Besaran frekuensi pribadi berkisar 3.882 – 12.009 Hz. Dari informasi ini kita dapat menentukan berapa frekuensi operasi yang diizinkan supaya dudukan GPS tidak mengalami resonansi. Dari analisa *modal* diketahui bahwa tegangan maksimum yang terjadi adalah $3.2 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ (lebih kecil dibanding *Yield Stress* $5.5 \times 10^7 \text{ N/m}^2$) yaitu terjadi pada titik 12, sehingga disimpulkan bahwa dudukan GPS tidak akan mengalami deformasi plastis. Selain itu, dari analisa *modal* juga diketahui bahwa perpindahan maksimum arah Y (vertikal) benda, yang terjadi adalah $4,5 \times 10^{-6} \text{ mm}$, masih sangat kecil untuk terjadi perubahan posisi pada GPS. Perlu adanya analisa getaran acak dan respons *shock* untuk dudukan GPS ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kepala bidang saya Bpk Herma Yudhi Irwanto sebagai Kepala Bidang Teknologi Kendali dan Telemetri yang telah mendukung kegiatan kerekeyasaan, serta para teknisi litkayasa yang telah membantu dalam proses pembuatan.

PERNYATAAN PENULIS

Penulis menyatakan bahwa makalah ini merupakan asli hasil karya penulis, bukan merupakan hasil plagiasi dan seluruh isi menjadi tanggung jawab penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Siam, Nadeem., *Development of An Efficeint Analysis Method for Prediction and Structural Dimensioning of Space Structures Subjected to Shock Loading*, Lulea University of Technology, 2010.
- 2) Montenbruck, O., Markgraf, M., Turner, P., Engler, W., and Schmitt, G., *GPS Tracking of Sounding Rockets – A European Perspective*, ESA Workshop on Satellite Navigation User Equipment Technologies NAVITEC ESTEC, 2001.
- 3) Laksono, S.P., *Technical Note Desain dan Pembuatan Dudukan GPS*, Pustekroket LAPAN, 2014.
- 4) Harris, C.M., and Piersol, A.G., *Shock and Vibration Handbook*, 5th Edition, Mc-Graw Hill, New York, 2002.
- 5) Logan, D.L., *A First Course in the Finite Element Method*, 4th Edition, Thomson, Toronto, 2007.
- 6) Stone, R., and Cho, M., *Finite Element Analysis Introduction*, University of Arizona, 2012.

- 7) Xin, Jack and Cai, L.W., *Linear Dynamic Analysis Learning Module*, Kansas State University, 2010.
- 8) Janushevskis, A., Melnikovs, A., and Janusevskis, J., *Dynamic Analysis and Shape Optimization of Automotive Gage Panel*, Int. J. of Mechanical Engineering and Automation, Vol. 1 no.4, 2014 PP.193-202.
- 9) Akin, J.E., *Finite Element Analysis Concept via Solidworks*, Rice University, 2009.
- 10) Hakiki., *Kurva G-Load prediction RX450*, Pustekroket LAPAN, 2014.