

Perancangan Sirip Roket RX 450 Akibat Pengaruh Terjadinya Flutter

Agus Budi Djatmiko

Rocket Technology Center LAPAN
Email : agusbudi60@gmail.com

Abstrak

Tergantung pada misinya, Rocket adalah kendaraan yang dirancang terbang dalam tingkat serangan sudut tertentu pada kecepatan tinggi di atmosfer dan sekitarnya. Keberhasilan misi tergantung pada stabilitas penerbangan sebagai pertimbangan kinerja utama. Sirip roket mengalami beban aerodinamik berupa gaya angkat dan gaya hambat selama penerbangannya serta beban thrust akibat penyalaan motor roket selama waktu pembakaran. Flutter didefinisikan sebagai "ketidakstabilan dinamis yang terkait dengan interaksi gaya aerodinamis, elastis, dan inersia. Karena sirip roket tidak memiliki peredam mekanis besar, roket harus mengandalkan konstruksi dan dimensi yang cermat untuk menghindari efek flutter. Flutter juga menghasilkan daya angkat, dan dengan demikian dapat menyebabkan roket menjadi tidak stabil secara dinamis kriteria kekakuan berdasarkan persyaratan flutter dalam banyak kasus adalah kriteria desain kritis. Dengan meningkatnya kecepatan gerak roket, maka stabilitas arah roket menjadi sangat penting. Pentingnya stabilitas inilah yang menyebabkan perlunya dikaji desain dan bahan material dari sirip roket RX 450 yang dapat berpengaruh terhadap terjadinya flutter pada sirip roket. Sirip roket dipasang pada bagian belakang roket dan disambungkan ke badan roket dengan menggunakan sebuahudukan pelat yang diperkuat dengan baut. Tujuan penelitian ini membahas tentang perancangan sirip roket RX 450 agar tidak terjadi flutter padanya. Penelitian ini juga diharapkan untuk mengetahui tingkat keamanan desain struktur sirip roket RX-450 dengan bahan Al 7075 dengan modulus geser $G = 3900$ ksi. Analisis dilakukan dengan menggunakan teori flutter pada sirip roket. Hasil perancangan didapat besarnya kecepatan maksimum untuk terjadinya flutter pada sirip roket RX 450 dengan tebal 15 mm pada ketinggian 1 km adalah 2,43 Mach sedangkan kecepatan roket RX 450 adalah 0,8 Mach, sedangkan pada ketinggian lain flutter tidak akan terjadi atau dapat dikatakan tidak terjadi flutter pada sirip roket RX 450 selama penerbangannya.

Kata kunci : Tegangan Lentur, Sirip roket, Flutter

1. Pendahuluan

Flutter didefinisikan sebagai "ketidakstabilan dinamis yang terkait dengan interaksi gaya aerodinamis, elastis, dan inersia". Tiga jenis flutter adalah flutter stall, pitch-bending flutter, dan flutter-bending-torsi. Jenis kepak yang paling mungkin untuk roket yang dibangun dengan benar dan dengan demikian fokus penelitian ini adalah kepak-puntir yang bengkok, di mana dua mode alami dari osilasi sirip berinteraksi melalui resonansi bersama lainnya. Pada flutter yang menekuk-sirip sirip, pengalihan udara di sekitar sirip menciptakan kekuatan yang menyebabkan lentur dan torsi. Beban aerodinamis terus-menerus menyebabkan hubungan antara momen-momen ini di mana energi dari tekukan dibelokkan ke dalam puntir dan kembali lagi, yang mengarah ke loop umpan balik positif yang, jika dibiarkan tidak teredam, dapat mengakibatkan keruntuhan geser dan struktural. Flutter juga menghasilkan daya angkat, dan dengan demikian dapat menyebabkan roket menjadi tidak stabil secara dinamis. Bahkan dalam sayap pesawat terbang, kriteria



kekakuan berdasarkan persyaratan *flutter* dalam banyak kasus adalah kriteria desain kritis.

Tergantung pada misinya, rocket adalah kendaraan yang dirancang terbang dalam tingkat serangan sudut tertentu pada kecepatan tinggi di atmosfer dan sekitarnya. Keberhasilan misi tergantung pada stabilitas penerbangan, pertimbangan kinerja utama. Itu sirip roket secara aerodinamis dirancang untuk mencapai ini tujuan penerbangan. Sirip ini dikenakan tinggi beban aerodinamis selama penerbangan. Pemahaman dan pemodelan akurat dari karakteristik bermain aerodinamis ini bagian utama dalam kinerja mereka. Persamaan yang mengatur dinamika sirip ini dalam penerbangan adalah parsial on linier persamaan diferensial yang sulit untuk model analitis dan mahal atau terkadang terbatas ruang lingkupnya harus diselesaikan melalui studi eksperimental terowongan angin . Karena itu pilihan paling sering digunakan oleh peneliti di daerah ini adalah rute solusi numerik.

Flutter didefinisikan sebagai "ketidakstabilan dinamis yang terkait dengan interaksi gaya aerodinamis, elastis, dan inersia". Tiga jenis *flutter* adalah *flutter stall*, *pitch-bending flutter*, dan *flutter-bending-torsi*. Jenis kepak-an yang paling mungkin untuk roket yang dibangun dengan benar dan dengan demikian fokus penelitian ini adalah kepak-an-puntir yang bengkok, di mana dua mode alami dari osilasi sirip berinteraksi melalui resonansi bersama lainnya. Pada *flutter* yang menekuk-sirip, pengalihan udara di sekitar sirip menciptakan kekuatan yang menyebabkan lentur dan torsi. Beban aerodinamis terus-menerus menyebabkan hubungan antara momen-momen ini di mana energi dari tekukan dibelokkan ke dalam puntir dan kembali lagi, yang mengarah ke *loop* umpan balik positif yang, jika dibiarkan tidak teredam, dapat mengakibatkan keruntuhan geser dan struktural. *Flutter* juga menghasilkan daya angkat, dan dengan demikian dapat menyebabkan roket menjadi tidak stabil secara dinamis. Bahkan dalam sayap pesawat terbang, kriteria kekakuan berdasarkan persyaratan *flutter* dalam banyak kasus adalah kriteria desain kritis.

Sirip roket bersifat pasif atau aktif stabilisasi penerbangan dan ini tergantung pada apakah sirip tetap atau bergerak. Sirip dirancang untuk beroperasi secara stabil lebih dari rentang kecepatan, tetapi di luar kisaran ini, namun sirip mulai bergetar keras untuk membuat kepak-an fenomena. Getaran struktural yang keras dan tidak stabil ini tampaknya paling sering berasal dari kopling dua mode getaran dalam sistem *aero elastic*. Getaran ini bertanggung jawab untuk ekstraksi energi dari aliran udara ke struktur dan berpotensi ini dapat menyebabkan kegagalan struktural *katastropik*. Maklum, cukup sering, desainer roket, bertujuan untuk menggunakannya bahan ringan yang sekaligus fleksibel dengan efek yang dihasilkan dari distorsi ketika beban aerodinamik terapan. Beban aerodinamis pada dasarnya disebabkan oleh geometri struktur permukaan pengangkatan. Entah bagaimana ini beban menyebabkan deformasi pada struktur dan memvariasikan geometri, satu set beban aerodinamis yang sama sekali berbeda hasil. Beban ini akan menghasilkan peningkatan distorsi pada bentuk permukaan pengangkatan. Interaksi antara gaya aerodinamis, elastis dan inersia adalah subjek inti *aeroelastisitas*. Berbagai fenomena *aeroelastik* dapat terjadi di klasifikasikan dengan menggunakan segitiga pasukan Collar. Tiga jenis kekuatan yaitu; Kekuatan aerodinamis, kekuatan elastis, dan gaya inersia ditempatkan pada simpul segitiga (lihat gambar 1). Setiap fenomena *aeroelastik* dapat ditemukan dalam kaitannya dengan tiga simpul. Fenomena *aeroelastik* statis karena interaksi gaya aerodinamis dan elastis (seperti mengangkat divergensi permukaan atau mengontrol efisiensi permukaan) dan fenomena *aeroelastik* dinamis (seperti bergetar, dinamis respons dan hentakan) dapat dengan mudah ditemukan karena mereka melibatkan ketiga jenis kekuatan. Interaksi antara kekuatan elastis dan inersia penting untuk analitis pengobatan masalah *aeroelastik* dinamis memunculkan getaran mekanis, dimana interaksi antara aerodinamis dan gaya inersia memperkenalkan tubuh yang kaku

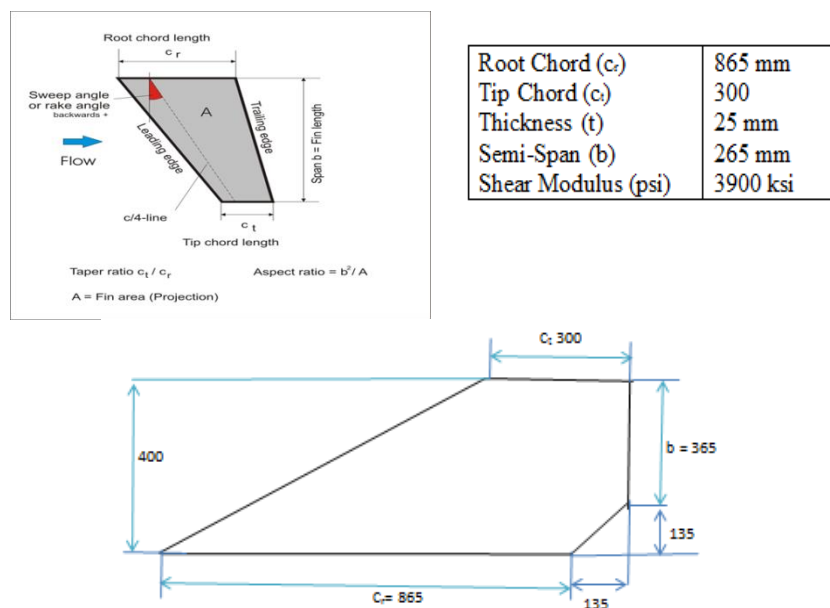
dinamika. Tujuan penelitian ini membahas tentang rancangan sirip roket RX 450 akibat pengaruh terjadinya *flutter*.

2 Metodologi

2.1. Landasan teori

Untuk keperluan persamaan ini, bahan diasumsikan *isotropik*, yang berarti bahwa sifat mekanik material adalah sama di semua arah koordinat. Asumsi ini sangat akurat untuk logam karena diproduksi dengan cara yang relatif seragam, tetapi untuk *isotropi* komposit kayu dan tangan tidak dapat diasumsikan. Di kayu, tegangan geser unik untuk setiap sumbu, membuat material *ortotropik*. Anda mungkin telah memperhatikan bagaimana lebih mudah untuk membelah kayu di sepanjang biji daripada mencoba memotongnya secara tegak lurus. Selain itu, tidak ada jaminan bahwa dua potong kayu, bahkan dari pohon yang sama, akan memiliki sifat pasangan yang sama. Hal yang sama juga berlaku untuk semua komposisi yang diletakkan tangan, karena variabilitas serat kain dan aplikasi epoksi. Oleh karena itu, ketika menggunakan data geser yang dipublikasikan pada materi *ortho-tropic* juga tambahkan faktor keamanan tambahan.

Dari Persamaan 1, variabel di bawah akar kuadrat yang menggambarkan geometri sayap adalah ketebalan sayap (t), akord akar (c), Rasio Aspek (AR) dan Rasio Taper (λ). Persamaan untuk variabel-variabel ini tercantum di bawah ini, bersama dengan panduan geometri sayap yang ditunjukkan pada Gambar 1. Semua unit harus dalam inci. Dalam studi optimasi baru-baru ini yang dilakukan oleh Angkatan Udara, mereka menemukan bahwa *semi-span* memiliki dampak paling besar dalam *flutter*. perhitungan kecepatan. Secara logis ini masuk akal, karena seorang yang lebih keras akan lebih kaku dan lebih mampu menahan torsi dibandingkan dengan yang lebih panjang, lebih fleksibel. Namun, ada pertukaran di sini dengan area efektif minimum yang diperlukan untuk menjaga roket Anda tetap lurus. Melalui beberapa iterasi desain menggunakan perangkat lunak *RockSim* (www.ApogeeRock-ets.com/rocksim.asp), Anda harus dapat membuat campuran yang tepat dari semua nilai yang diinginkan.



Gambar 1 : Dimensi sirip roket RX 450

Menghitung luas permukaannya adalah (S)

$$S = \frac{C_r + C_t}{2} b \quad (1)$$

The fin aspect ratio :

$$AR = \frac{b^2}{S} \quad (2)$$

The ratio of tip to root chord

$$\alpha = \frac{C_t}{C_r} \quad (3)$$

temperature altitude

$$T = 50 - 0,00356 \times alt \quad (4)$$

Altitude = 3000 ft (altitude of max velocity, not apogee of rocket

Tekanan atmosphere (P)

$$P = 2116 \times \left(\frac{T + 459,7}{518,6} \right)^{5,256} \quad (lb / ft^2)$$

$$P = \frac{2116}{144} \times \left(\frac{{}^0F + 45,7}{518,6} \right)^{5,256} = lb/in^2$$

T = dalam satuan 0F

Variabel terakhir dari persamaan batas flutter adalah kecepatan suara hanya bergantung pada suhu medium, persamaan kecepatan suara diberikan

Kecepatan suara :

$$a = \sqrt{1,4 \times 1716 \times (T + 460)} \quad (5)$$

we will using the flutter boundary equation bassed on nasa server the equation in as follow : kita akan menggunakan persamaan batas flutter berdasarkan server nasa persamaan sebagai berikut:

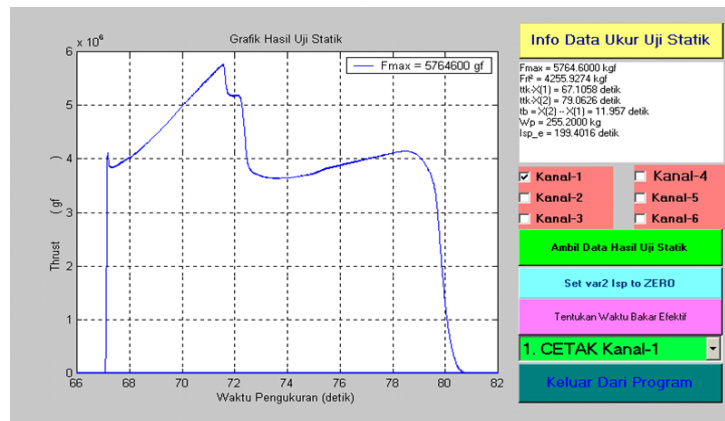
Menghitung Kecepatan Flutter Fin

untuk keperluan persamaan ini, bahan diasumsikan isotropik, yang berarti bahwa sifat mekanik material adalah sama di semua arah koordinat. Asumsi ini sangat akurat untuk logam karena diproduksi dengan cara yang relatif seragam, tetapi untuk isotropi komposit kayu dan tangan tidak dapat diasumsikan. Di kayu, tegangan geser unik untuk setiap sumbu, membuat material ortotropik

$$V_f = a \sqrt{\frac{G}{1,33AR^3P(\alpha + 1)}} \dots (ft / sec) \quad (6)$$

Persamaan 1. Persamaan Flutter Boundary

G = modulus geser material (PSI), P = tekanan atmosfer (lb/in^2)



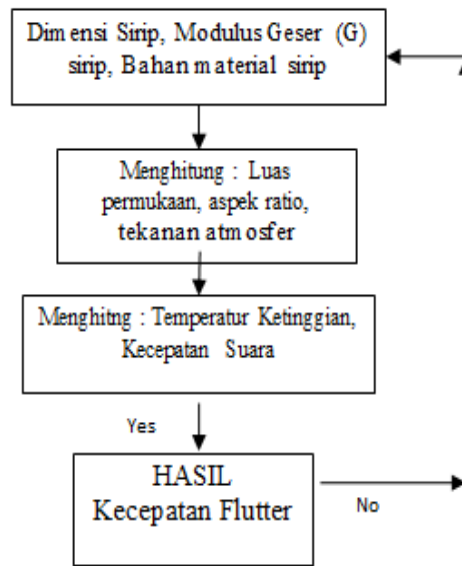
Gambar 4 : Grafik Hasil Uji Statik Roket RX 450

Tabel 1. Hasil Uji Statik Roket RX 450

t	W	$\dot{m}$	F (N)	a	Ue	M
0	16875.63	0	-1.69E+04	-9.21E+00	0.00E+00	0
1	16551.03	35.238	-1.65E+04	-9.16975	-9.17E+00	-2.67E-02
2	16226.44	35.238	5.44E+04	30.88844	61.77689	0.179584
3	15901.84	35.238	56280.23	32.60192	97.80575	0.284319
4	15577.24	35.238	54938.88	32.48807	129.9523	0.377768
5	15252.64	35.238	53277.46	32.17607	160.8804	0.467675
6	14928.04	35.238	52976.32	32.68989	196.1393	0.570172
7	14603.45	35.238	54485.04	34.36818	240.5773	0.699352
8	14278.85	35.238	57188.92	36.89379	295.1503	0.857995
9	13954.25	35.238	60446.75	39.90258	359.1233	1.043963
10	13629.65	35.238	63503.97	42.91911	429.1911	1.247648
11	13305.05	35.238	66676.49	46.16265	507.7891	1.476131
12	12980.46	35.238	70506.04	50.03466	600.4159	1.745395
13	12655.86	35.238	7.47E+04	5.44E+01	7.07E+02	2.054663
14	12331.26	35.238	7.81E+04	58.31561	816.4185	2.37331
15	12006.66	35.238	80231.44	61.55408	923.3112	2.684044
16	11682.06	35.238	81671.25	64.39975	1030.396	2.995337
17	11357.47	35.238	82218.76	66.68437	1133.634	3.295449
18	11032.87	35.238	81301.38	67.88035	1221.846	3.551879
19	10708.27	35.238	77096.22	66.32058	1260.091	3.663055
20	10383.67	35.238	14507.22	12.86968	257.3936	0.748237
21	10059.07	35.238	-8.51E+03	-7.79E+00	-163.676	-0.4758

2.2 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam merancang struktur sirip Roket RX 450 akibat flutter, dapat diperlihatkan pada flow chart perancangan struktur sirip roket RX 450 pada gambar 6 dibawah ini ,



Gambar 2 : Diagram Alir Perancangan Sirip Roket RX 450 Akibat Flutter

Data sirip roket RX 450 lapan adalah sebagai berikut :

- Bahan Sirip Al 7075
- Root Chord (cr) = 865 mm = 15,76 in
- Tip Chord (ct) = 300 mm
- Thickness (t) = 15 mm = 0,591 in
- Semi-Span (b) = 1000 mm = 39,4 in
- Shear Modulus (psi) G = 3.900.000 Psi

Menghitung luas span :

$$S = \frac{(15,76 + 0 + 3,75)}{2} \times 39,4 = 310,46 \text{ in}^2$$

The fin aspect ratio :

$$AR = \frac{39,4^2}{310,46} = 5$$

The ratio of tip to root chord

$$\alpha = \frac{0}{15,76} = 0$$

Temperature altitude

Altitude = 3000 ft (altitude of max velocity, not apogee of rocket) Ketinggian = 3000 ft (ketinggian kecepatan maks, bukan puncak roket)

$$T = 59 - 0,00356 \times 3000 = 48,32 \text{ degF}$$

Tekanan atmosphere (P)

$$P = \frac{2116}{144} \times \left(\frac{48,32 + 45,7}{518,6} \right)^{5,256} = 13,19 \text{ lb/in}^2$$

Kecepatan suara :

$$a = \sqrt{1,4 \times 1716 \times (48,32 + 460)} = 6493,3 \text{ (ft/sec)}.$$

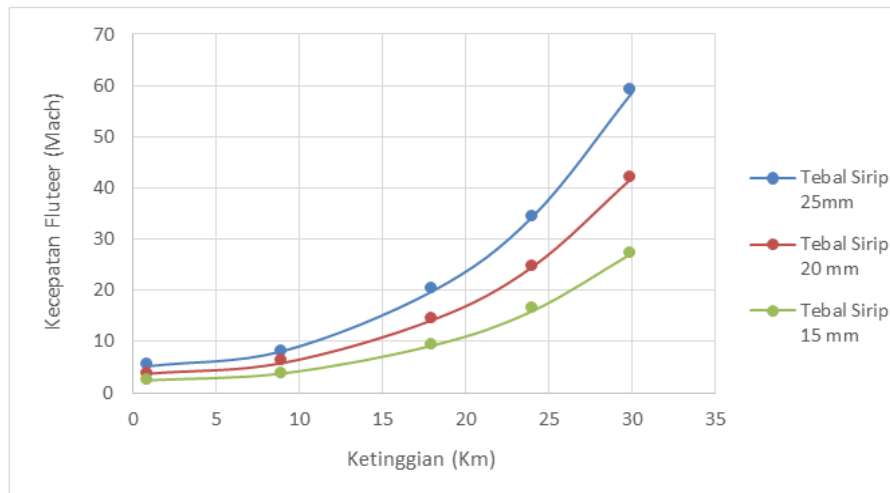
Menghitung kecepatan flutter

$$V_f = a \sqrt{\frac{3900000}{1,33(0,7)^3 \cdot 13,19(0,38 + 1) \cdot \frac{2(0,7 + 2)(\frac{0,591}{9,75})^3}}}} \text{ (ft/sec)}$$

$$V_f = 7597,28 \frac{\text{ft}}{\text{sec}} = 2317,17 \text{ m/detik} = 6,6 \text{ Mach}$$

Hasil untuk beberapa ketebalan sirip dapat dilihat pada grafik 1.

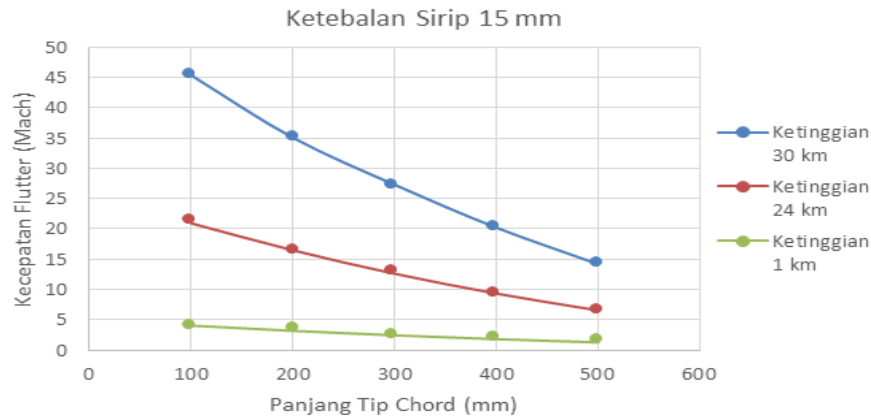
3. Hasil dan Pembahasan



Grafik 1 : hubungan antara kecepatan flutter terhadap ketebalan sirip roket RX 450

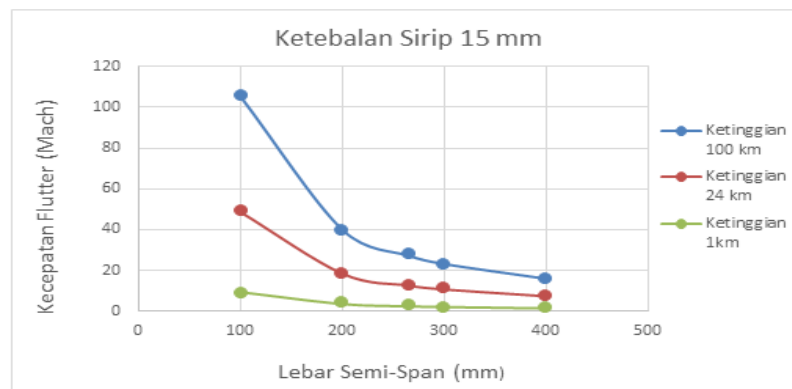
Grafik 1 menerangkan hubungan antara kecepatan flutter dan tebal sirip roket RX 450 pada ketinggian roket, makin tinggi dan tebal sirip roket makin besar pula kecepatan flutter yang terjadi. Dapat dilihat disini roket dengan ketebalan 25 mm mempunyai kecepatan flutter sekitar 58 Mach pada ketinggian 30 km dan kecepatan flutter $V_f = 5,2$ Mach pada ketinggian 1 km, dalam hal ini yang harus diperhatikan adalah roket pada ketinggian rendah karena dalam sekian detik roket RX 450 telah mencapai kecepatan yang tinggi. Jadi menggunakan tebal sirip ini cukup aman sekali cuma terlalu tebal dan berat

Kemudian kita tinjau roket dengan ketebalan 15 mm mempunyai kecepatan flutter sekitar 27,31 Mach pada ketinggian 30 km dan pada ketinggian rendah yaitu 1 km, kecepatan flutter dari roket mencapai 2,43Mach dan semakin tinggi roket maka kecepatan flutter semakin besar, hal ini perlu diperhatikan karena roket RX 450 pada ketinggian 1 km, roket tersebut menempuh waktu sekitar 1,5 detik, sedangkan roket RX 450 mengalami kecepatan 2 mach pada detik ke 13, jadi sirip roket dengan tebal sirip roket 15 mm cukup aman dipakai pada roket RX450.



Grafik 2 : Kecepatan Flutter terhadap panjang Tip Chord sirip roket RX 450

Grafik 2 menerangkan hubungan antara kecepatan flutter dengan panjang tip chord (c_t) dengan tebal sirip roket 15 mm, panjang tip chord 100 untuk segala ketinggian karena mempunyai kecepatan flutter diatas 4 Mach jadi sangat aman.. Begitu pula dengan panjang tip chord 200 dan 300 mm mempunyai kecepatan flutter diatas 2,4 Mach pada ketinggian 1 km, cukup aman, karena kecepatan flutter diatas. Yang cukup rawan panjang tip chord 500 mm karena pada ketinggian 1 km mempunyai kecepatan flutter 1,26 Mach.



Grafik 3 : Kecepatan Flutter terhadap panjang Semi-Span sirip roket RX 450

Grafik 3 menerangkan hubungan antara lebar semi-span dengan kecepatan flutter pada ketebalan sirip 15 mm, terlihat semi-span dengan lebar 100 mm mempunyai yang paling aman, karena pada ketinggian 1 km mempunyai kecepatan flutter 9,38 Mach dan semakin tinggi roket semakin tinggi pula kecepatan flutternya. Begitu pula dengan lebar semi-span 300 mm pada ketinggian 1 km mempunyai kecepatan flutter $V_f = 2$ Mach, masih cukup aman. Sedangkan lebar semi-span 400 mm mempunyai kecepatan flutter 1,42 Mach pada

ketinggian 1 km hal ini cukup mengkwatirkan karena mendekati kecepatan dari roket RX 450.

4. Kesimpulan dan Saran

Hasil perancangan terhadap sirip roket RX 450 akibat terjadinya flutter dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Perancangan sirip roket dengan tebal 15 mm pada ketinggian 1km mempunyai kecepatan 2,43 Mach
2. Dalam perancangan sirip RX 450 digunakan panjang tip chord 100 sd 300 cukup aman karena mempunyai kecepatan flutter di atas $V_f = 2,43$ Mach.
3. Untuk perancangan lebar semi-span untuk sirip RX 450 dapat menggunakan lebar semi-span 100 mm sampai dengan 300 mm dapat digunakan Karena mempunyai kecepatan flutter di atas 2 Mach pada ketinggian 1 km.

Dari hasil perancangan dapat disimpulkan bahwa roket RX 450 dengan tebal sirip 15 mm, panjang tip chord 300 mm dan semi-span 265 mm cukup aman dari terjadinya flutter.

Daftar Pustaka

1. Ronald Gunawan¹, Agus Budi Djatmiko², Bagus Wicaksono³, and Haryadi Abrizal⁴ “ Strength Design Of Rx 450 Rocket Fin Due To Effect Of Aerodynamic Load “ Seminar International Universitas Pancasila Jakarta 2019.
2. Zachary Howard “ How To Calculate Fin Flutter Speed “Colorado Springs, Colorado 80907-9024 USA www.ApogeeRockets.com e-mail: orders@apogeerockets.com I S S U E 2 9 1 J U L Y 1 9 , 2 0 1 1
3. Davide Bigoni and Giovanni Noselli “ Experimental evidence of flutter and divergence instabilities induced by dry friction “Department of Mechanical and Structural Engineering, University of Trento via Mesiano 77, Trento, Italy
4. Gregory L. Bales, Roger M. Glaese and Eric H. Anderson “Active Damping and Vibration Control for Aircraft Fin and Appendage Structures “ CSA Engineering Inc., 2565 Leghorn St., Mountain View, CA 9404 American Institute of Aeronautics and Astronautics 2002
5. G A Fazal¹, H Fadillah¹ , F Y Silitonga¹ , Mochamad Agoes Moelyadi² ” Study of Swept Angle Effects on Grid Fins Aerodynamics Performance “ 5th International Seminar of Aerospace Science and Technology IOP Publishing IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1005 (2018)
6. Alexander Alvarez , Grace Gerhardt, Evan Kelly “ Design and Integration of a High-Powered Model Rocket-II “ WORCESTER POLYTECHNIC INSTITUTE Degree of Bachelor of Science in Aerospace Engineering March 2019
7. Xiaoming Shi¹, Ying Su² “Influence of the counterweight location on flutter by an all-moving fin “Journal of Vibroengineering, Vol. 18, Issue 1, 2016, p. 476-484, published 15 February 2016
8. Richard Bauer and Austin Hardman “ Fin Flutter Analysis “California Polytechnic State University: San Luis Obispo, San Luis Obispo, California. 2003
9. Emma Renee Fraley “Design, Manufacturing, and Integration of Fins for 2017-2018 OSU ESRA 30k Rocket “ A THESIS submitted to Oregon State University Presented October 19, 2018