

Analisis Aeroelastik Sirip Komposit RX 2020 Berbahan Dasar Carbon-Epoxy Dan Glass-Epoxy

Oleh:
Novi Andria

Abstrak

Makalah ini merupakan salah satu makalah yang membahas perancangan sirip komposit sebagai pengganti sirip aluminum. Pada makalah ini, model sirip komposit terbaik RX 2020 hasil penelitian sebelumnya dianalisis ketahanannya terhadap kegagalan aeroelastisitas. Pada penelitian sebelumnya telah disimpulkan bahwa kekuatan struktur sirip komposit carbon-epoxy dan glass epoxy cukup baik tetapi terlihat sangat elastis sehingga perlu dikaji aeroelastisitasnya. Model elemen hingga sirip dibuat menggunakan elemen laminate berkonfigurasi simetri dengan kondisi batas cantilever pada pangkal sirip. Konfigurasi serat yang diterapkan adalah konfigurasi serat tenun. Analisis aeroelastisitas dilakukan menggunakan software MSC. Nastran. Penelitian ini menyimpulkan bahwa sirip carbon-epoxy merupakan sirip komposit terbaik dan aman untuk digunakan diikuti oleh sirip glass-epoxy sebagai pilihan kedua tetapi orientasi serat yang diterapkan sebaiknya tidak 0/90.

Kata kunci : sirip roket, aeroelastik, composite, carbon-epoxy, glass-epoxy.

Abstract

This paper is one of papers describing composite fin design as an alternative design to replace LAPAN's conventional aluminum rocket fin. In this research, aeroelastics analysis is performed to the best composite fin model of RX 2020 resulted from previous research. It was stated that stress level of carbon-epoxy and glass-epoxy composite fin are low but those tip deformation are high so the aeroelastics analysis needs to be calculated. The finite element model of fin is built using symmetrical laminate element with cantilever constraint on its root. Fiber configuration is fabric/woven. Aeroelastics analysis is performed numerically using MSC. Nastran software. This research concluded that carbon-epoxy rocket fin is the best choice to replace the aluminum fin and safe to be used and the glass-epoxy fin is the second choice as long as those fiber orientation are not 0/90.

Keywords: rocket fin, aeroelastics, composite, carbon-epoxy, glass-epoxy.

1. PENDAHULUAN

Roket balistik RX-2020 yang sedang dikembangkan oleh LAPAN merupakan sebuah roket sonda yang dikembangkan untuk mencoba sistem telemetri. Roket ini mampu terbang hingga ketinggian 12 km dan jangkauan 30 km pada elevasi luncur 60°. Sistem propulsinya, yang berdiameter 200 mm dan panjang 2000 mm, memberikan gaya dorong rata-rata sebesar 2.300 kgf sehingga kecepatan maksimum yang akan dialami roket adalah 2,67 Mach [1].

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan penelitian kekuatan statik struktur sirip komposit roket RX 2020 secara numerik [2]. Penelitian tersebut merupakan langkah awal sebagai upaya untuk memperingan sirip roket dengan mengganti sirip berbahan aluminum menjadi sirip berbahan komposit. Pada penelitian tersebut diketahui bahwa penggunaan sirip berbahan dasar komposit seperti carbon-epoxy dan glass epoxy sangat tepat dilakukan untuk menggantikan sirip aluminum. Tingkat keamanan desain sirip aluminum sangat kritis [2]. Sirip berbahan carbon adalah yang paling kuat dalam menerima beban statik diikuti oleh sirip glass-epox sebagai alternatif kedua [2]. Penerapan sirip ini memerlukan analisis lanjutan berupa analisis aeroelastisitas karena hasil simulasi menunjukkan bahwa deformasi ujung sirip kedua sirip ini lebih besar dari sirip aluminum untuk kondisi pembebanan yang sama.

Penerapan bahan komposit sebagai bahan dasar struktur sirip roket belum pernah dilakukan di LAPAN. Penerapan material ini akan menjadi sangat penting untuk LAPAN seiring dengan pengembangan roket sebagai RPS dan rudal balistik jarak jauh. Roket jenis ini berukuran besar dan kecepatan terbangnya mampu mencapai kecepatan hipersonik. Ukuran sirip yang besar untuk menstabilkan roket menyebabkan berat siripnya dapat melebihi berat nozzle bila sirip dibuat dari bahan logam seperti aluminum. Selain itu, terjadinya pemanasan aerodinamik pada zona terbang

*Peneliti Aeroelastisitas Bidang Struktur dan Mekanika Roket, PUSTEK ROKET-LAPAN

hipersonik memaksa digunakannya sirip yang terbuat dari material tahan panas yang pada umumnya adalah komposit. Kendati lebih ringan dibandingkan dengan sirip aluminum, sirip komposit ini dikenal sangat rentan terhadap kegagalan aeroelastisitas [3]. Sirip jenis baru berbahan komposit ini perlu dianalisis kekuatannya serta rentan tidaknya terhadap fenomena aeroelastisitas seperti divergensi dan flutter. Analisis aeroelastisitas merupakan analisis terakhir dalam rangkaian iterasi perancangan struktur [3,4]. Penelitian aeroelastisitas ini sendiri belum dilakukan secara mendalam di LAPAN.

Aeroelastis adalah cabang ilmu mekanika yang mempelajari interaksi antara gaya-gaya aerodinamika, struktur, dan inersial. Aeroelastis terbagi menjadi *static elastic* dan *dynamic elastic*. Fenomena yang dihasilkan dari kedua jenis diatas bisa berupa divergensi (kasus *static-elastic*) dan flutter (kasus *dynamic-elastic*) [5-8]. Pada umumnya flutter lebih rentan terjadi dibandingkan dengan divergensi [17]. Pada beberapa kasus analisis aeroelastisitas pada *cantilevered lifting surfaces* diperoleh hasil dimana kecepatan flutter lebih rendah dari pada kecepatan divergensi [3].

Flutter merupakan fenomena ketidakstabilan dinamik suatu sistem yang diakibatkan oleh interaksi antara unsur inersia, redaman, dan fleksibilitas struktur, serta beban-beban aerodinamika yang bekerja pada struktur [13-16]. Untuk kasus *classical flutter*, flutter sangat dipengaruhi oleh nilai rasio frekuensi *bending-torsi* (ω_H/ω_a). Fenomena *flutter* merupakan salah satu contoh dari fenomena resonansi [5].

Pada penelitian ini batasan masalah yang diterapkan disamakan dengan batasan masalah pada penelitian sebelumnya [2]. Analisis aeroelastisitas dilakukan secara numerik berdasarkan metoda elemen hingga menggunakan software MSC. Nastran. Jenis elemen yang digunakan adalah elemen laminate 2D untuk pemodelan struktur sirip komposit dan elemen plate untuk pemodelan struktur sirip logam. Sirip komposit dimodelkan dengan konfigurasi layer simetri untuk mempercepat dilakukannya perhitungan [9]. Variasi orientasi serat hanya dua yakni 0/90 dan +/-45. Ketebalan sirip dibuat sama dengan ketebalan sirip aluminum yang dijadikan referensi. Data material yang digunakan adalah data material standar yang diperoleh dari referensi [Ref.10]

Jenis serat yang digunakan adalah serat Carbon, Glass. Serat Kevlar tidak digunakan karena hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sirip berbahan kevlar ini tidak aman untuk digunakan [2]. Serat Carbon dipilih karena dikenal memiliki kekakuan dan kekuatan yang tinggi meskipun harganya mahal [9]. Serat Glass dipilih karena harganya murah meskipun kekuatannya rendah. Adapun matriksnya adalah epoxy karena mudah diperoleh, memiliki kekuatan ikat yang baik dan harganya murah [9]. Konfigurasi serat yang digunakan adalah konfigurasi serat tenun (*fabric/woven*). Hal ini dilakukan untuk menyederhanakan pemodelan dan mempertimbangkan aspek ketersediaan barang.

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat keamanan dari sudut pandang aeroelastisitas desain sirip komposit yang telah dinyatakan aman berdasarkan analisis kekuatan struktur statik [2]. Dengan dilaksanakannya penelitian ini diharapkan agar tujuan utama pengembangan struktur berbahan komposit untuk memperingan struktur roket dapat segera terwujud. Selain itu, diharapkan dengan tingginya kecepatan terbang serta sejenisnya profil sirip RX 2020 yang dijadikan wahana kajian dengan sirip roket LAPAN yang lain dapat membuat hasil penelitian ini mewakili kajian untuk sirip roket LAPAN yang lebih besar.

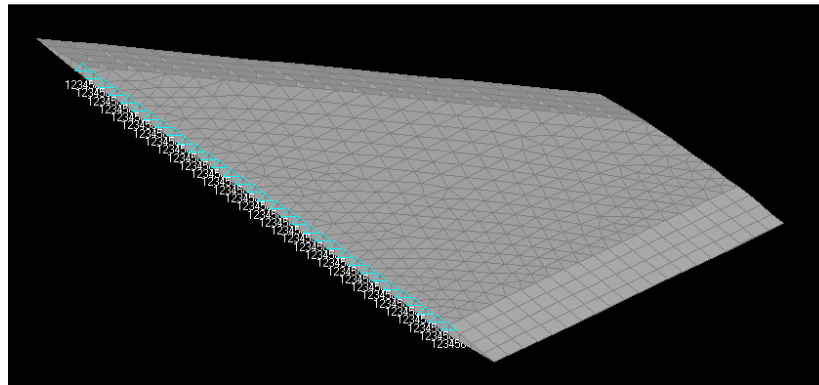
2. METODOLOGI

2.1. Pemodelan Struktur

Sirip roket RX 2020 dimodelkan hanya satu buah yakni bagian kanan saja. Sistem koordinat yang dipakai dalam pemodelan struktur adalah x (searah aliran), y (ke kanan) dan z (ke atas). Pemodelan struktur sirip dimulai pada 100 mm dari sumbu simetrik roket. Sirip tidak memiliki sudut puntir dan incidence relatif terhadap fuselage dan berkonfigurasi aft swept LE. Elastic axis sayap diasumsikan berada pada 50 % chord dari leading edge. Airfoil yang digunakan berkonfigurasi double wedge. Ditetapkan bahwa model sirip komposit yang akan dianalisis adalah sirip komposit Carbon-Epoxy dan Glass-Epoxy. Data material untuk ketiga jenis sirip tersebut diambil dari referensi standar [10] karena datanya paling lengkap.

Jumlah layer, jenis elemen, variasi serat dan kondisi batas sirip komposit dibuat sama dengan model elemen hingga sirip pada penelitian sebelumnya. Jumlah layer untuk model sirip serat Carbon dan Glass berturut-turut adalah 20 dan 22 layer. Sirip komposit dimodelkan menggunakan elemen laminate dengan konfigurasi simetri. Orientasi serat untuk masing-masing model sirip divariasikan menjadi dua yakni 0/90 dan +/-45. Diterapkan pula kondisi batas berupa cantilever pada pangkal sirip.

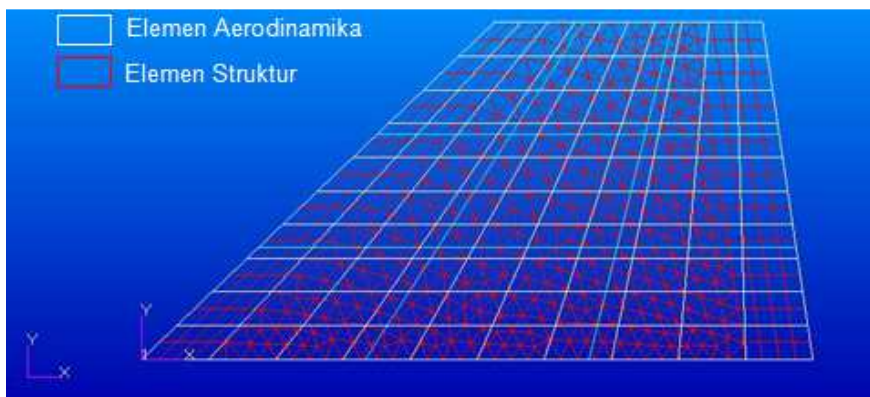
Hasil pemodelan elemen hingga struktur sirip RX 2020 ditunjukkan pada Gambar 2.1. Selain sirip komposit, model sirip aluminum pun dianalisis sebagai pembanding menggunakan material Al 6061.



Gambar 2.1. Model elemen hingga struktur sirip RX 2020

2.2. Pemodelan Aerodinamika

Aerodinamika sirip roket RX 2020 dimodelkan dengan satu panel yang terdiri dari 10 x 10 box aerodinamik. Model aerodinamika yang digunakan adalah model doublet-lattice pada kecepatan subsonik dan ZONA 51 pada kecepatan supersonik. Model struktur dan aerodinamika sirip roket ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Elemen struktur dan aerodinamika sirip roket RX 2020

2.3. Dinamika Struktur Sirip

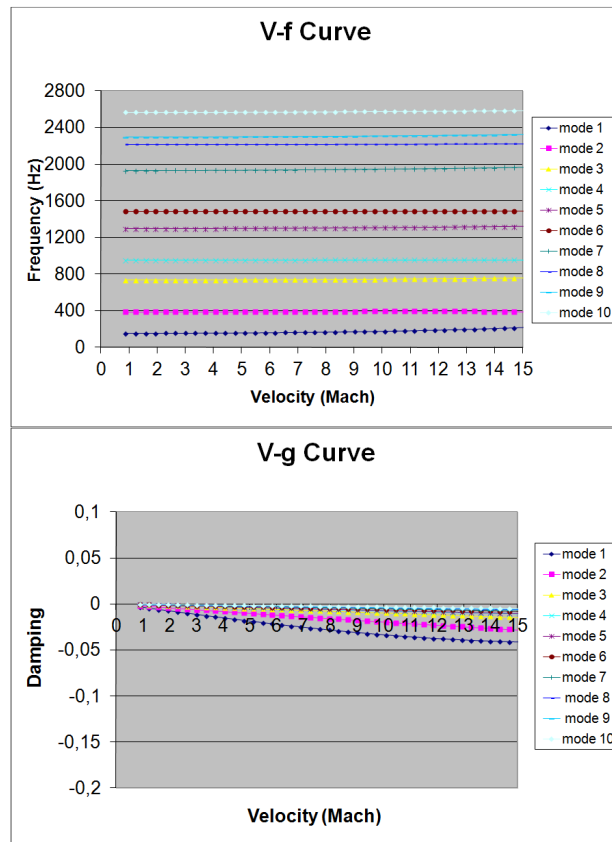
Sebelum *flutter* dianalisis, analisis dinamik struktur dilakukan terlebih dahulu menggunakan Nastran. Hal ini bertujuan untuk mengetahui frekuensi, massa, dan kekakuan termampatkan tiap modus gerak [11] serta rentang frekuensi untuk melibatkan 10 modus pertama dalam analisis aeroelastisitas. Flutter dapat dideteksi dengan memperhatikan nilai redaman sama dengan nol dan terjadi konvergensi nilai frekuensi pada dua atau lebih modus gerak. Adapun divergensi dapat diketahui dengan cara mencari modus gerak yang nilai redaman dan frekuensinya sama dengan nol saat kecepatan aliran dinaikan.

3. HASIL DAN ANALISIS

Untuk kasus *classical flutter* terjadinya flutter disebabkan oleh interaksi dua buah modus gerak sistem yang frekuensinya saling mendekati satu sama lain. Kedua modus gerak tersebut adalah modus bending dan torsi. Cara yang digunakan untuk menentukan kedua modus gerak ini adalah dengan memplot kurva kecepatan-frekuensi (V-f) untuk beberapa modus gerak utama. Frekuensi kedua modus gerak ini akan menuju kekonvergenan saat kecepatan udara dinaikan. Dari kedua modus gerak tersebut, *flutter mode* dapat dicari melalui kurva kecepatan-redaman (V-g). Modus gerak ini mempunyai karakteristik dimana redaman (g) system memotong garis tetapan (umumnya $g = 0\%$) pada suatu kecepatan kritis tertentu. Pada bagian ini akan diuraikan hasil simulasi numerik untuk masing-masing model sirip dan pembahasannya.

3.1. Sirip Aluminium

Berdasarkan analisis dinamik struktur diketahui bahwa rentang frekuensi 10 modus gerak pertama adalah antara 0-2600 Hz. Dengan menggunakan rentang frekuensi tersebut diperoleh hasil simulasi numerik aeroelastisitas seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1.

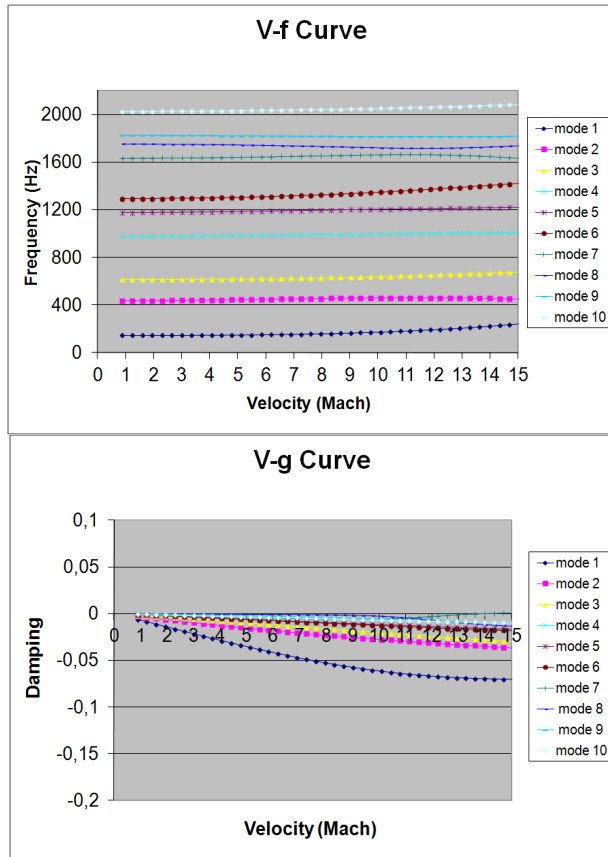


Gambar 3.1. Kurva V-f dan V-g hasil analisis aeroelastik sirip aluminium

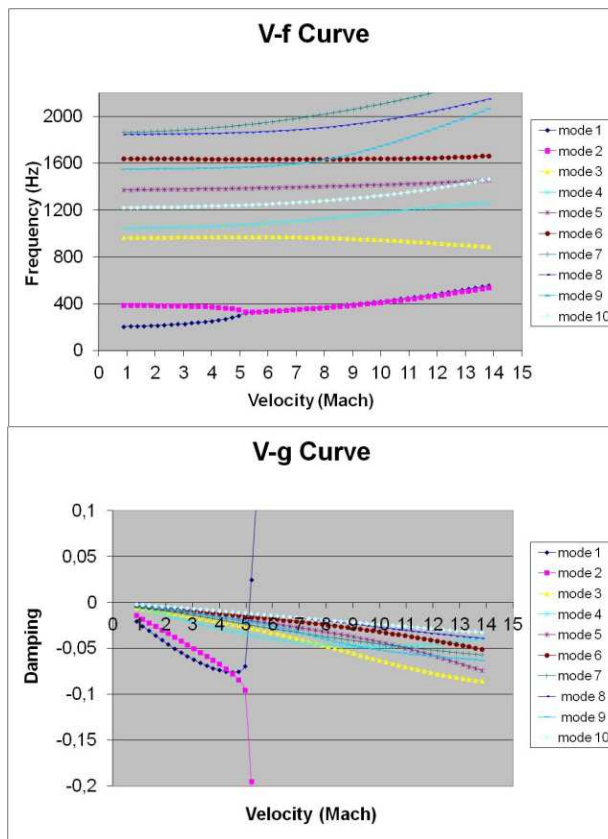
Dengan memperhatikan tidak terdapatnya frekuensi modus gerak yang konvergen pada kurva V-f dan tidak adanya redaman yang memotong nilai nol pada kurva V-g maka dapat diketahui bahwa flutter dan divergensi tidak terjadi pada model sirip ini untuk seluruh bilangan Mach yang dikaji.

3.2. Sirip Komposit Carbon Fabric-Epoxy

Berdasarkan analisis dinamik struktur diketahui bahwa rentang frekuensi 10 modus gerak pertama untuk model sirip ini adalah antara 0-2818 Hz. Dengan menggunakan rentang frekuensi tersebut diperoleh hasil simulasi numerik aeroelastisitas seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2 dan 3.3.

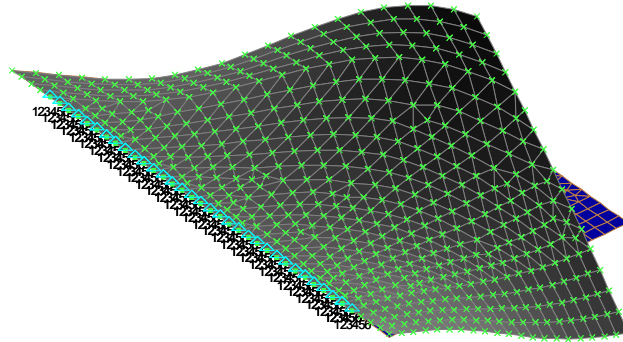


Gambar 3.2. Kurva V-f dan V-g hasil analisis aeroelastik sirip komposit carbon-epoxy dengan orientasi serat +/-45



Gambar 3.3. Kurva V-f dan V-g hasil analisis aeroelastik sirip komposit carbon-epoxy dengan orientasi serat 0/90

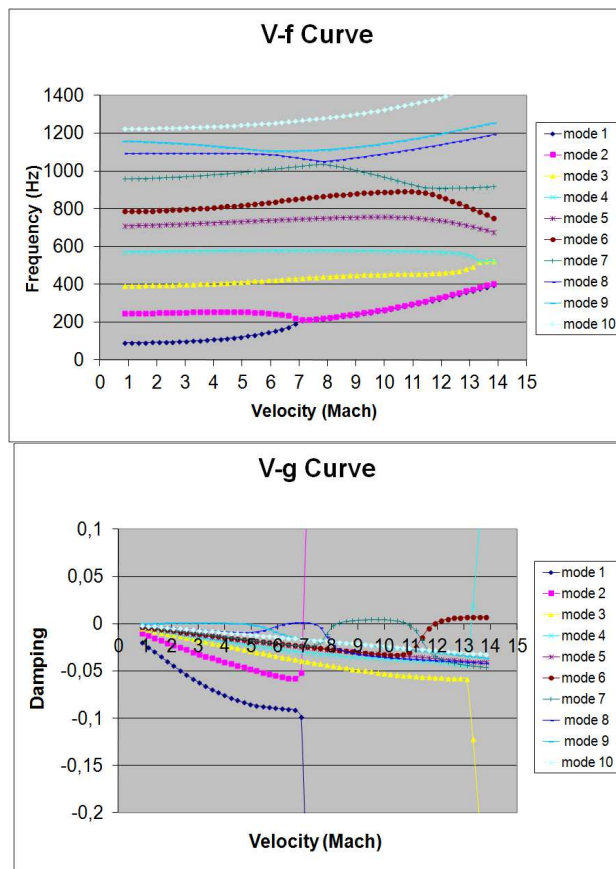
Pada Gambar 3.2 dapat dilihat bahwa flutter dan divergensi tidak terjadi untuk model sirip carbon-epoxy dengan orientasi +/-45. Sedangkan pada Gambar 3.3 dengan mudah dapat diketahui bahwa sirip dengan orientasi 0/90 mengalami flutter pada Mach 5 tetapi tidak terjadi divergensi. Pada model sirip ini flutter terjadi pada modus torsi pertama seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4.



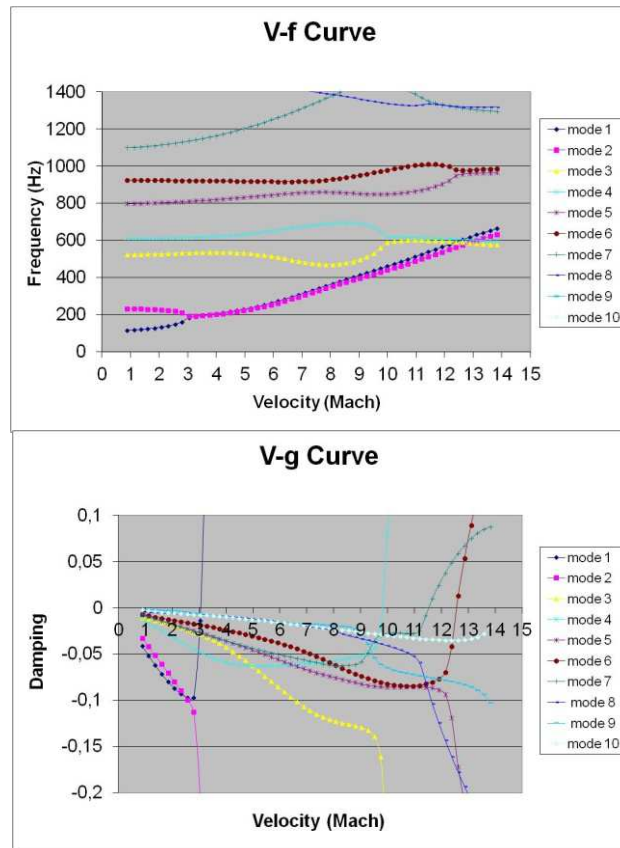
Gambar 3.4. Modus flutter sirip komposit Carbon-Epoxy [0/90]

3.3. Sirip Komposit Glass Fabric-Epoxy

Berdasarkan analisis dinamik struktur diketahui bahwa rentang frekuensi 10 modus gerak pertama untuk model sirip ini adalah antara 0-1231 Hz. Dengan menggunakan rentang frekuensi tersebut diperoleh hasil simulasi numerik aeroelastisitas seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5 dan 3.6.



Gambar 3.5. Kurva V-f dan V-g hasil analisis aeroelastik sirip komposit glass-epoxy dengan orientasi serat +/-45



Gambar 3.6. Kurva V-f dan V-g hasil analisis aeroelastik sirip komposit glass-epoxy dengan orientasi serat 0/90

Pada Gambar 3.5 dapat dilihat bahwa sirip glass-epoxy dengan orientasi +/-45 mengalami flutter pada Mach 7 tetapi tidak mengalami divergensi. Sedangkan pada Gambar 3.6 dapat diketahui bahwa sirip dengan orientasi 0/90 mengalami flutter pada Mach 3 dan tidak mengalami divergensi.

3.4. Pembahasan

Berdasarkan Gambar 3.1 dan 3.2 dapat diketahui bahwa sirip aluminum dan sirip carbon epoxy dengan orientasi serat +/-45 tidak mengalami flutter ataupun divergensi. Dibandingkan dengan hasil analisis untuk sirip komposit yang lain (Gambar 3.3 s/d 3.6) dapat dipastikan bahwa hanya kedua sirip ini saja yang tidak mengalami kegagalan aeroelastisitas. Melalui pengamatan yang lebih detail kurva V-f pada Gambar 3.2 diketahui bahwa frekuensi bending dan torsi (modus 1 dan 2) sirip carbon epoxy +/-45 saling mendekat setelah melewati Mach 10 lebih cepat dari dari pada interaksi kedua modus gerak untuk sirip aluminum (Gambar 3.1). Bila bilangan Mach yang dikaji melebihi Mach 15, maka terdapat kemungkinan bahwa sirip carbon-epoxy dengan orientasi +/-45 ini pun akan mengalami flutter untuk bilangan Mach yang lebih tinggi. Hasil penelitian ini memperkuat fakta bahwa memang sirip berbahan komposit ini lebih rentan terhadap kegagalan aeroelastisitas dibandingkan dengan sirip berbahan dasar logam.

Dengan memperhatikan kurva V-f dan V-g pada Gambar 3.3 s/d 3.6 dapat diketahui bahwa modus gerak yang menyebabkan terjadinya flutter adalah modus pertama (bending) dan kedua (torsi). Hal ini umum terjadi untuk kasus *classical flutter* karena desain siripnya masih pejal. Frekuensi kedua modus saling mendekat seiring dengan bertambahnya kecepatan aliran dan pada akhirnya redaman salah satu modus mencapai nilai positif saat melewati kecepatan flutter. Nilai redaman positif menggambarkan bahwa struktur sudah tidak dapat mengkompensasi gangguan yang disebabkan oleh aliran.

Untuk mempermudah perbandingan hasil analisis, pada Tabel 3.1 ditampilkan data kecepatan flutter dan kecepatan divergensi masing-masing sirip yang dikaji.

Tabel 3.1. Hasil analisis aeroelastik untuk sirip komposit dan perbandingannya dengan sirip aluminum

	Aluminum	Carbon Fabric-Epoxy		Glass Fabric-Epoxy	
		+/-45	90	+/-45	90
Flutter Speed (Mach)	-	-	5	7	3
Divergence Speed (Mach)	-	-	-	-	-

Berdasarkan hasil penelitian pada referensi [12] diketahui bahwa kecepatan flutter sirip roket dengan constraint cantilever setara dengan 1.5 kalinya kecepatan flutter sirip roket dengan melibatkan body / fuselage. Adapun kriteria keamanan yang umum digunakan pada desain pesawat sipil adalah kecepatan flutter harus lebih tinggi dari 1.2 kali kecepatan maksimum wahana [12]. Dengan demikian batas kecepatan flutter paling rendah untuk sirip roket RX 2020 *fixed fin* ini adalah 1.2 dikali 1.5 dikali 2.7 yakni sebesar 4.86 Mach.

Dengan memperhatikan Gambar 3.1 s/d 3.6 dan Tabel 3.1 dapat diketahui bahwa hampir seluruh model sirip tidak mengalami divergensi. Berdasarkan Tabel 3.1 dan nilai minimum kecepatan flutter sebesar 4.86 Mach dapat diketahui diketahui pula bahwa hanya sirip komposit glass-epoxy dengan orientasi serat 0/90 saja yang tidak memenuhi batas aman aeroelastisitas. Pada Tabel 3.1 dan Gambar 3.2 s/d 3.6 dapat dilihat bahwa sirip komposit dengan orientasi serat 0/90 lebih rentan terhadap flutter dari pada sirip dengan orientasi serat +/-45. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun deformasi ujung sirip pada orientasi serat +/-45 lebih besar dari pada deformasi orientasi serat 0/90 [2], kecepatan flutternya justru lebih tinggi. Penyebabnya adalah flutter lebih didominasi oleh modulus torsi dan kekakuan torsi untuk orientasi serat +/-45 ini lebih tinggi.

Pada Tabel 3.1 dan Gambar 3.3 diketahui bahwa kecepatan flutter untuk sirip carbon-epoxy 0/90 adalah pada Mach 5. Nilai ini hanya berbeda sedikit dengan batas kecepatan flutter minimum. Sirip ini lebih kritis dibandingkan dengan sirip glass-epoxy +/-45 yang kecepatan flutternya masih cukup tinggi yakni pada Mach 7 (Gambar 3.5). Dengan demikian dapat dikatakan bahwa orientasi serat sirip komposit yang lebih aman terhadap flutter adalah +/-45. Penelitian ini memperkuat hasil penelitian sebelumnya dimana kandidat terbaik pengganti sirip aluminum adalah sirip carbon-epoxy dan kemudian sirip glass-epoxy sebagai pilihan kedua tetapi orientasi serat yang diterapkan sebaiknya tidak 0/90.

5. KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah diuraikan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Kendati deformasi ujung siripnya lebih besar, ketahanan terhadap kegagalan aeroelastisitas sirip komposit dengan orientasi serat +/-45 lebih tinggi dibandingkan orientasi serat 0/90.
- Sirip komposit memang cenderung lebih rentan terhadap flutter.
- Sirip komposit terbaik hasil penelitian kekuatan struktur statik dinyatakan aman terhadap kegagalan aeroelastisitas orientasi seratnya sebaiknya tidak 0/90.
- Pilihan terbaik pengganti sirip aluminum adalah sirip komposit carbon-epoxy

5.2. Saran

- Pada penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan analisis aeroelastis sirip komposit untuk orientasi serat selain +/-45 dan 0/90.
- Dilakukan pula analisis numerik kekuatan struktur statik dan aeroelastisitas untuk sirip komposit dengan jenis serat *unidirectional*.
- Hasil penelitian ini memerlukan validasi berupa uji getar untuk mengevaluasi frekuensi pribadi 10 modulus pertama yang digunakan dalam analisis dinamik

DAFTAR PUSTAKA

1. Andria N., ***Pengaruh Nilai Kecepatan Luncur, Pembesaran Nilai Koefisien Gaya Hambat Dan Variasi Nilai Gaya Dorong Pada Keakuratan Perhitungan Trajektori Roket Lapan***, Jurnal Teknologi Dirgantara LAPAN, Bogor, 2011. (to be published).
2. Andria N., ***Pengembangan Sirip Roket Komposit LAPAN***, SIPTEKGAN XVI, LAPAN, Serpong, 2012. (to be published)
3. Wright J.R., Cooper J.E., ***Introduction to Aircraft Aeroelasticity and Loads***, John Wiley dan Sons Ltd, Wiltshire, 2007.
4. Fleeman E. L., ***Tactical Missile Design***, AIAA Education Series, Reston, USA, 2006.
5. Dowell E.H.(Ed.), ***A Modern Course in Aeroelasticity***, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1980, p.480.
6. Bisplinghoff R.L., Ashley H., Halfman R.L., ***Aeroelasticity***, Addison-Wesley Publishing Company, New York, 1957, p.855.
7. Fung Y.C., ***An Introduction to the Theory of Aeroelasticity***, Dover Publications, New York, 2008, p.498.
8. Rodden W.P., ***Static Aeroelastic dan Flutter (On-Site Training)***, University of Kansas, Kansas, 1992.
9. Ekman P., ***Development of Composite Fin to Improve Orion Rocket***, Bachelor Thesis in Aeronautical Engineering, School of Innovation, Design and Engineering, Malardalen University, 2012.
10. http://www.performance-composites.com/carbonfibre/mechanicalproperties_2.asp, diakses pada tanggal 8 Juni 2012.
11. Brandon J.M., Derry S.D., Heim E.H., Hueschen R.M., Bacon B.J., ***Ares-I-X Stability and Control Flight Test: Analysis and Plans***, AIAA, NASA Langley Research Center, 2008.
12. Andria N., ***Analisis Flutter Sirip Roket Balistik RX 420 dengan Melibatkan Modus Gerak Kaku Struktur Roket***, Jurnal Makara Seri Teknologi Vol. 2 November. Universitas Indonesia, Depok, 2011.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

DATA UMUM

Nama Lengkap : Novi Andria
Tempat & Tgl. Lahir : Garut, 18 November 1985
Jenis Kelamin : Laki – Laki
Instansi Pekerjaan : PUSTEK ROKET – LAPAN
NIP. / NIM. : 19851118 200901 1 003
Pangkat / Gol. Ruang : Penata Muda / III a
Jabatan Dalam Pekerjaan : Peneliti
Agama : Islam
Status Perkawinan : Menikah

DATA PENDIDIKAN

SLTA : SMUN 1 Leles- Garut Tahun: 2000 – 2003
STRATA 1 (S.1) : Teknik Penerbangan – ITB Tahun: 2003 - 2007

ALAMAT

Alamat Rumah : Jalan Kenanga 2 No 41 RT 015 RW 004
Perum Suradita – Serpong
Kecamatan Cisauk, Kabupaten Tangerang
HP. : 081321135851
Alamat Kantor / Instansi : Jl. Raya LAPAN No. 2 Desa Mekarsari, Rumpin
Kabupaten Bogor - Jawa Barat
Telp. : 021 2175790384