



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**ANALISIS FLUTTER HORIZONTAL TAIL PLANE BOX  
PESAWAT N-2ZE MENGGUNAKAN  
MSC.PATRAN/NASTRAN**

**TUGAS AKHIR**

**ARI FAIQ FADHILAH  
L2E 605 206**

**FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG  
SEPTEMBER 2011**

## TUGAS SARJANA

- Diberikan kepada : Nama : Ari Faiq Fadhilah  
NIM : L2E 605 206
- Dosen Pembimbing : Dr. Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT
- Jangka Waktu : 6 (enam) bulan
- Judul : ANALISIS FLUTTER HORIZONTAL TAIL PLANE BOX  
PESAWAT N-2ZE MENGGUNAKAN MSC. PATRAN  
/NASTRAN
- Isi Tugas :
1. Mengetahui proses analisis flutter secara umum dalam perancangan struktur.
  2. Membuat Pemodelan Struktur *Horizontal Tail Plane Box* pesawat N-2ZE menggunakan piranti lunak MSC.PATRAN.
  3. Menganalisis getaran bebas dan *flutter* struktur *Horizontal Tail Plane Box* pesawat N-2ZE menggunakan piranti lunak MSC.NASTRAN

Semarang, 30 September 2011

**Menyetujui,**

**Dosen Pembimbing**



**Dr. Ing Ir. Ismoyo Haryanto, MT**  
**NIP: 196605212006041010**

## **HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Skripsi/Tesis/Disertasi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**NAMA : Ari Faiq Fadhilah**

**NIM : L2E 605 206**

**Tanda Tangan :** 

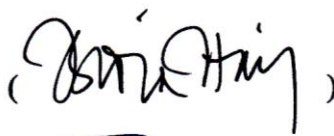



**Tanggal : 30 September 2011**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
NAMA : Ari Faiq Fadhilah  
NIM : L2E 605 206  
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Analisis *Flutter Horizontal Tail Plane Box* Pesawat  
N-2ZE Menggunakan MSC.PATRAN/NASTRAN

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan/Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

### TIM PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT (  )  
Penguji : Ir. Budi Setyana, MT (  )  
Penguji : Dr. Ir. Nazarudin Sinaga, MS (  )  
Penguji : Dr. MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT (  )

Semarang, September 2011

Jurusan Teknik Mesin  
Ketua,



Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fajar TK  
NIP. 1959072219870310003

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

---

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : ARI FAIQ FADHILAH  
NIM : L2E 605 206  
Jurusan/Program Studi : TEKNIK MESIN  
Fakultas : TEKNIK  
Jenis Karya : TUGAS AKHIR

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

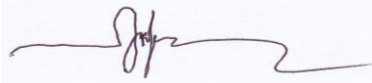
*Analisis Flutter Horizontal Tail Plane Box Pesawat N-2ZE Menggunakan MSC.PATRAN/NASTRAN.*

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang  
Pada Tanggal : 30 September 2011

Yang menyatakan



(ARI FAIQ FADHILAH )  
NIM: L2E605206

## ABSTRAK

Pada perancangan struktur pesawat terbang, kestabilan aeroelastisitas (*aeroelastic stability*) merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi. Dasar regulasi yang terkait dengan kestabilan aeroelastisitas ialah FAR (Federal Aviation Regulation) 25.629—*Aeroelastic Stability Requirements*. Dalam regulasi tersebut, secara umum disebutkan bahwa perlu dilakukan evaluasi kestabilan aeroelastis terkait dengan kasus-kasus seperti *flutter*, *divergence*, *control reversal*, dan kasus kehilangan kestabilan dan kontrol lainnya yang diakibatkan oleh deformasi struktur. Hal ini dimaksudkan supaya struktur pesawat terbang tetap aman pada saat operasi penerbangan.

*Flutter* adalah ketidakstabilan dinamik akibat adanya interaksi gaya aerodinamika, inersia, dan struktur. Pada pesawat udara, *flutter* dapat menimbulkan kegagalan struktur pesawat dan membatasi domain terbang pesawat.

Pada penelitian ini dilakukan analisis flutter struktur *Horizontal Tail Plane box* pesawat udara. Analisis dilakukan untuk mencari karakteristik dinamik dan *flutter* pada *Horizontal Tail Plane box* pesawat N-2ZE. Penentuan karakteristik dinamik dan *flutter* dilakukan dengan menggunakan program MSC PATRAN/NASTRAN.

Hasil penelitian menunjukkan pada *Horizontal Tail Plane box* ditemukan fenomena *flutter* pada kecepatan 550 KNOT, modus ke 8 dengan jenis gerakan torsi dan frekuensi sebesar 136,54 Hz.

Kata kunci: *Flutter*, *Horizontal Tail Plane*, PATRAN, NASTRAN.

## ABSTRACT

*At scheme of plane structure, aeroelastisity stability be one of clauses which must be fulfilled. Regulation base related to stability of aeroelastisity is FAR (Federal Aviation Regulation) 25629-Aeroelastic Stability Requirements. In the regulation, in general is mentioned that need to be done evaluation of stability of aeroelastis related to cases like flutter, divergence, reversal control, and case losing of other stability and control resulted from by deformation of structure. Plane structure must be designed in such a manner so that safe at the time of operation of air transport.*

*Flutter is dynamic instability as result of existence of interaction of aerodynamic style, inertia, and structure. At aeroplane, flutter can generate failure of plane structure and limits domain to fly plane.*

*At this research done analysis flutter structure Horizontal Tail Plane (HTP) box aeroplane Analisis done to look for dynamic characteristic and flutter at plane. Determination of dynamic characteristic and flutter is done by using program MSC PATRAN/NASTRAN.*

*This research resulted on Horizontal Tail Plane box found by phenomena flutter at a speed 550 KNOTS, 8th modus with torsi's movement type and frequency as big as 136,54 Hz*

**Keywords:** *Flutter, Horizontal Tail Plane, PATRAN, NASTRAN.*

## MOTTO:

“Manusia tidak memiliki talenta yang sama, tapi kita memiliki kesempatan yang sama untuk mengembangkan talenta kita”  
(John F. Kennedy 1917-1963)

“Tak ada ketergantungan yang bisa dipastikan, kecuali ketergantungan pada diri sendiri”  
(John Gay 1685-1732)

“Jadilah engkau didunia laksana orang asing atau orang yang menyeberangi jalan bila engkau berada di sore hari, maka jangan menunggu datangnya pagi dan bila engkau di pagi hari, maka jangan menunggu datangnya sore. Manfaatkanlah waktu sehatmu sebelum sakitmu dan waktu hidupmu sebelum matimu”  
(HR.Bukhori)

“Kesabaran dan ketekunan menghadapi sesuatu akan menghasilkan suatu karya yang besar”

## PERSEMBAHAN:

Kupersembahkan Karyaku ini Kepada:

**Allah SWT** atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya

Kedua orang tuaku, **Bapak Syaefulloh, Spd** dan **Ibu Siti Aminah** atas segala doa, kasih sayang yang tulus, serta pengorbanannya selama ini

Adikku **Mauli Nur Zamzami** dan **Nabila Zahra Syafana** atas semangat dan dukungannya



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat melewati masa studi dan menyelesaikan Tugas Sarjana yang merupakan tahap akhir dari proses untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin di Universitas Diponegoro.

Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Tugas Sarjana ini tidak lepas dari bantuan orang-orang yang dengan ikhlas memberikan bantuan, bimbingan dan dukungan baik moral maupun material. Dengan segala kerendahan hati, pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT selaku dosen pembimbing Tugas Sarjana, yang telah memberikan bimbingan, pengarahan-pengarahan dan masukan kepada penulis hingga terselesaikannya Tugas Sarjana ini.
2. Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fajar TK selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro beserta staf pengajar yang telah membagikan ilmu yang berguna baik dimasa sekarang maupun dimasa yang mendatang.
3. Bapak Sudarminto selaku dosen pembimbing di PT. Dirgantara Indonesia yang selalu meluangkan seluruh waktu, tenaga, dan pikirannya dalam memberikan pengarahan, saran, nasihat, dalam membimbing dan mendidik penulis selama melakukan penelitian di PT. Dirgantara Indonesia.
4. Bapak Zainuddin Latang, Bapak Syamsul, Mas Bayu, Bapak Slamet, dan seluruh karyawan PT. Dirgantara Indonesia khususnya di departemen struktur *load analysis* dan departemen *aeroelasticity*.
5. Bapak dan ibu serta keluarga yang selalu menyayangi dan mendoakan penulis, terimakasih atas pengorbanannya baik material maupun moril hingga penulis bisa mencapai tingkat pendidikan sarjana.
6. My “NSF”, seluruh teman-teman kos, semua teman-teman jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang khususnya angkatan 2005 yang selalu solid terimakasih atas bantuannya.

Penulis menyadari kekurangan yang ada pada laporan Tugas Sarjana ini mengingat keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang penulis miliki, sehingga saran dan kritik dari pembaca yang bersifat membangun selalu penulis harapkan.

Akhir kata semoga laporan Tugas Sarjana ini bermanfaat bagi penulis sendiri maupun bagi para pembaca.

Semarang, 30 September 2011

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>TUGAS SARJANA .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....</b>	<b>viii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I    PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Tujuan Penulisan.....	3
1.3    Batasan Masalah.....	3
1.4    Metode Penelitian.....	3
1.5    Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II    DASAR TEORI .....</b>	<b>6</b>
2.1    Pengenalan Pesawat .....	6
2.1.1    Fuselage .....	7
2.1.2    Sayap .....	7
2.1.3    Ekor .....	8
2.2    Pemodelan Struktur.....	8
2.2.1    Elemen Beam .....	10
2.2.2    Elemen Plat .....	10

2.2.3	Elemen <i>Shell</i> .....	11
2.3	Teori Getaran .....	12
2.3.1	Getaran Bebas .....	12
2.3.2	Getaran Paksa.....	14
2.4	Teori Umum Aerolastisitas .....	17
2.5	Aeroelastik Statik .....	17
2.5.1	Divergensi .....	18
2.5.2	Aileron Reversal.....	18
2.6	Aeroelastik Dinamik .....	18
2.6.1	<i>Flutter</i> .....	19
2.6.1.1	Gerakan <i>Flutter</i> .....	20
2.6.1.2	Penentuan Kecepatan Flutter dengan metode PK ...	22
2.6.2	Respon Dinamik.....	23
2.7	Progran Bantu MSC.PATRAN/NASTRAN .....	24
2.7.1	MSC.PATRAN .....	24
2.7.2	MSC.NASTRAN .....	28
<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI ANALISIS .....</b>	<b>30</b>
3.1	Pemodelan Horizontal Tail Plane Box Pesawat N-2ZE .....	30
3.1.1	Pembuatan Geometri .....	30
3.1.2	Pembuatan Model Elemen Hingga .....	39
3.1.3	Pembuatan dan Penomoran Node .....	39
3.1.4	Penomoran Elemen .....	40
3.1.5	Pemodelan Caps, Skin, Spar, dan Rib .....	42
3.1.6	Validasi Model .....	44
3.2	Analisis Getaran Bebas .....	45
3.3	Analisis Flutter .....	47
3.3.1	Pemodelan Aero .....	47
3.3.2	Aerodinamik .....	48
3.3.3	Aeroelastisitas .....	49
3.3.3.1	Aero-struktur Kopel .....	49

3.3.3.2	Pemodelan Aeroelastik .....	50
3.3.4	Analisis Flutter .....	51
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>52</b>
4.1	Hasil Analisis Getaran Bebas .....	52
4.2	Hasil Analisis Flutter .....	57
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>62</b>
5.1	Kesimpulan .....	62
5.2	Saran .....	62

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data <i>Horizontal Tail Plane Box</i> Pesawat N-2ZE.....	31
Tabel 4.1 Hasil Analisis Getaran Bebas <i>Horizontal Tail Plane Box</i> Pesawat N-2ZE .....	52

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Segitiga Collar aeroelastik .....	1
Gambar 1.2 Pesawat N-2ZE.....	2
Gambar 1.3 Diagram Alir Penelitian .....	4
Gambar 2.1 Bagian-bagian pesawat.....	7
Gambar 2.2 Gaya-gaya pada stuktur <i>Wing Box</i> .....	9
Gambar 2.3 Beam statis dengan lenturan karena distribusi gaya merata.....	10
Gambar 2.4 Plat dan sistem koordinat.....	11
Gambar 2.5 Badan pesawat yang terbuat dari Elemen <i>shell</i> .....	11
Gambar 2.6 Sistem pegas-massa dan diagram benda bebas .....	12
Gambar 2.7 Getaran paksa dengan peredam.....	15
Gambar 2.8 Getaran teredam .....	17
Gambar 2.9 Kondisi dibawah/sebelum <i>flutter</i> .....	19
Gambar 2.10 Kondisi saat terjadi <i>flutter</i> .....	19
Gambar 2.11 Kondisi diatas/setelah <i>flutter</i> .....	20
Gambar 2.12 Plot diagram flutter antara kecepatan dan frekuensi .....	20
Gambar 2.13 Plot diagram flutter antara kecepatan dan redaman .....	21
Gambar 2.14 Ilustrasi gerakan <i>flutter</i> .....	21
Gambar 2.15 Plot diagram <i>flutter</i> menggunakan metode PK.....	23
Gambar 3.1 <i>Horizontal Tail Plane Box</i> CATIA V5R14.....	30
Gambar 3.2 (a) Dimensi-dimensi Horizontal Tail plane Box pesawat N-2ZE .....	32
Gambar 3.2 (b) Bagian Horizontal Tail plane Box pesawat N-2ZE .....	32
Gambar 3.3 Kurva HTP Box dengan Menggunakan PATRAN .....	33
Gambar 3.4 Bagian-bagian <i>Horizontal Tail Plane Box</i> .....	34
Gambar 3.5 <i>Upper skin Horizontal Tail Plane Box</i> pesawat N-2ZE.....	34
Gambar 3.6 <i>Upper skin Horizontal Tail Plane Box</i> pesawat N-2ZE.....	35
Gambar 3.7 <i>Front Spar Horizontal Tail Plane Box</i> pesawat N-2ZE.....	35
Gambar 3.8 <i>Rear Spar Horizontal Tail Plane Box</i> pesawat N-2ZE .....	36
Gambar 3.9 <i>Rib Horizontal Tail Plane Box</i> pesawat N-2ZE .....	36
Gambar 3.10 <i>Stringer Horizontal Tail Plane Box</i> pesawat N-2ZE.....	37

Gambar 3.11 <i>Fitting Horizontal Tail Plane Box</i> pesawat N-2ZE.....	37
Gambar 3.12 Diagram alir pemodelan HTP box pesawat N-2ZE sampai analisis.	38
Gambar 3.13 Pemodelan solid FEM HTP box.....	39
Gambar 3.14 Penomoran node HTP box .....	40
Gambar 3.15 Penomoran elemen BAR HTP box.....	41
Gambar 3.16 Penomoran elemen C-Quad HTP box.....	41
Gambar 3.17 Penomoran elemen C-Tria HTP box.....	42
Gambar 3.18 Form untuk memasukkan data material HTP.....	43
Gambar 3.19 Form untuk memasukkan properties elemen HTP.....	43
Gambar 3.20 Form penjepitan HTP box .....	45
Gambar 3.21 HTP box yang dijepit .....	46
Gambar 3.22 Form analisis Getaran Bebas.....	46
Gambar 3.23 Form pemodelan aero.....	47
Gambar 3.24 Pemodelan aero HTP box pesawat N-2ZE.....	48
Gambar 3.25 Form MK- aero.....	48
Gambar 3.26 Form pemodelan spline .....	49
Gambar 3.27 Spline HTP box pesawat N-2ZE .....	50
Gambar 3.28 Form pemodelan aeroelastik .....	50
Gambar 3.29 Form analisis <i>flutter</i> .....	51
Gambar 4.1 Hasil analisis getaran bebas modus pertama .....	53
Gambar 4.2 Hasil analisis getaran bebas modus kedua .....	53
Gambar 4.3 Hasil analisis getaran bebas modus ketiga .....	54
Gambar 4.4 Hasil analisis getaran bebas modus keempat. ....	54
Gambar 4.5 Hasil analisis getaran bebas modus kelima .....	55
Gambar 4.6 Hasil analisis getaran bebas modus keenam .....	55
Gambar 4.7 Hasil analisis getaran bebas modus ketujuh .....	56



Gambar 4.8 Hasil analisis getaran bebas modus kedelapan.....	56
Gambar 4.9 Keluaran NASTRAN analisis getaran bebas HTP box pesawat N-2ZE.....	57
Gambar 4.10 Plot diagram <i>flutter</i> antara kecepatan dan frekuensi HTP box pesawat N-2ZE .....	58
Gambar 4.11 Plot diagram <i>flutter</i> antara kecepatan dan redaman HTP box pesawat N-2ZE.....	59
Gambar 4.12 Plot diagram flutter pada HTP box pesawat N-2ZE .....	60
Gambar 4.13 Plot diagram flutter pada HTP box pesawat N-2ZE .....	61

## NOMENKLATUR

A	Matriks dinamik.
c	Redaman.
[ D ]	Matriks damping.
<b>k</b>	Kekakuan.
[ K ]	Matriks kekakuan.
m	Massa.
[ M ]	Matriks massa.
$\rho$	Massa jenis.
[ q ]	Koordinat vektor.
t	waktu.
{ u }	Vektor perpindahan.
{ $\ddot{u}$ }	Vektor percepatan
$U_f$	Kecepatan <i>Flutter</i>
$\omega$	Frekuensi alami
x	Vektor eigen
$\lambda$	Nilai eigen
{ $\Phi$ }	Bentuk modus
$\zeta$	Rasio redaman