

## PEMODELAN METODE ELEMEN HINGGA UNTUK MENENTUKAN TEGANGAN *VON MISES* PADA AS RODA LSU-05

### *THE FEM MODEL TO DETERMINE VON MISES STRESS OF THE MAIN LANDING GEAR WHEEL SHAFT OF LSU-05*

Fajar Ari Wandono  
Pusat Teknologi Penerbangan – Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional  
fajar.ari@lapan.go.id

#### Abstrak

Telah dilakukan pemodelan elemen hingga untuk mendapatkan nilai tegangan *von mises* dari as roda *main landing gear* LSU-05 menggunakan *software* Patran/Nastran. Jenis elemen yang digunakan untuk memodelkan as roda *main landing gear* LSU-05 berupa elemen *hexagonal*. Pembebanan yang diberikan diasumsikan merupakan beban statik ke arah x dengan nilai sebesar -706.15 N dan arah z sebesar 882.68 N. Nilai tegangan *von mises* yang dihasilkan sebesar 73,1 MPa pada elemen 11252. Kata kunci: As roda, *main landing gear* LSU-05, *software* Patran/Nastran, elemen *hexagonal*, tegangan *von mises*.

#### Abstract

*A finite element model has been done for the main landing gear wheel shaft of LSU-05 to obtain von mises stress using Patran/Nastran software. The element type used to model the main landing gear wheel shaft of LSU-05 was hexagonal element. The loading was assumed as static load in x direction with magnitude of -706.15 N and z direction with magnitude of 882.68 N. The result of von mises stress was 73.1 MPa at element 11252.*

*Keywords: The wheel shaft, main landing gear of LSU-05, Patran/Nastran software, hexagonal element, von mises stress.*

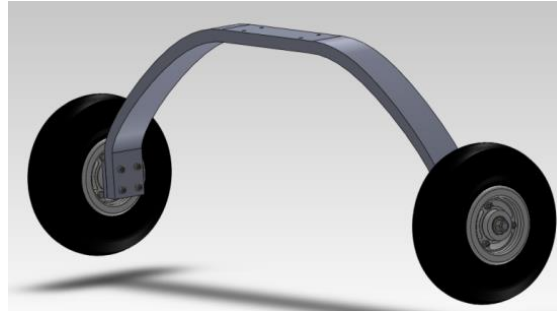
## 1. PENDAHULUAN

Pesawat LSU-05 adalah pesawat nir awak hasil litbang LAPAN yang mempunyai misi sebagai *platform scientific*, observasi, patroli dan pengawasan perbatasan dengan menggunakan *payload realtime* video. Dalam pengoperasiannya di daerah perbatasan, pesawat ini harus mampu melakukan *take off* dan *landing* di landasan perintis.[1] LSU-05 ini memiliki bentang sayap 5,5 m dengan MTOW (*maximum take-off weight*) sebesar 735,75 N.

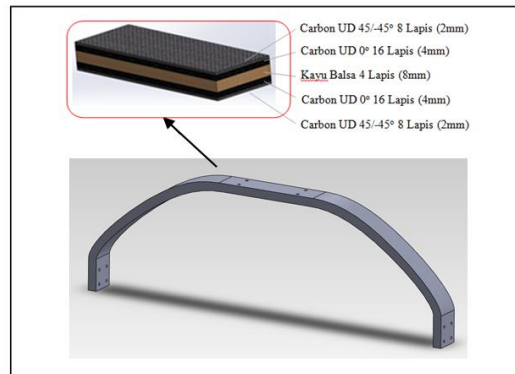
Salah satu struktur utama pada LSU-05 adalah *landing gear*. *Landing gear* pesawat bertugas untuk menahan seluruh berat pesawat selama proses pendaratan dan ketika beroperasi di darat. Bentuk *gear* tergantung pada desain pesawat dan kegunaan dari pesawat itu sendiri. Banyak dari *landing gear* yang memiliki roda untuk memudahkan operasi menuju dan dari permukaan keras, seperti *runway airport*. Selain itu bentuk lain dari *gear* adalah *skids*, seperti yang ditemukan pada helikopter, balon gondola dan pada bagian ekor di beberapa *dragger aircraft*. [2] Lebih dari itu, *landing gear* merupakan struktur utama untuk mengurangi beban hentak (*shock*) saat *landing*. [3]

LSU-05 memiliki tipe *tricycle landing gear* dengan sebuah roda pada *nose* dan dua buah roda pada *main landing gear*. Jenis *tricycle* adalah jenis konfigurasi *landing gear* yang paling banyak digunakan. *Aft CG (center of gravity)* dari pesawat akan sangat dekat dari ban belakang dan akan membawa sebagian besar berat dan beban pesawat. [4]

Untuk pemasangan roda pada *main landing gear* digunakan sebuah as roda yang terbuat dari material aluminium. Material aluminium dipilih karena ringan dan memiliki kekuatan yang cukup kuat. Gambar dari struktur *main landing gear* LSU-05 dapat dilihat pada gambar berikut.

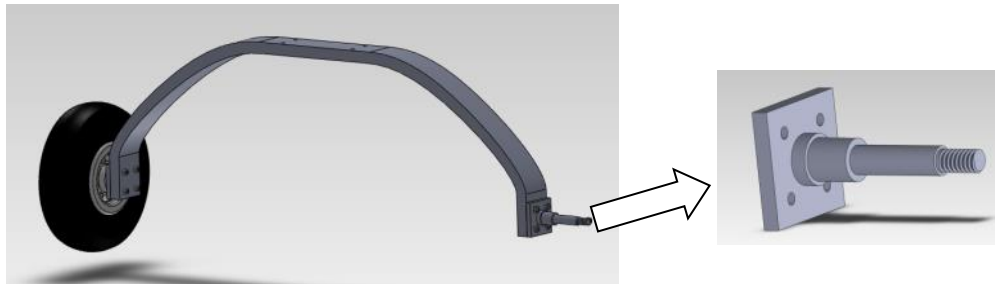


Gambar 1. Main landing gear LSU-05

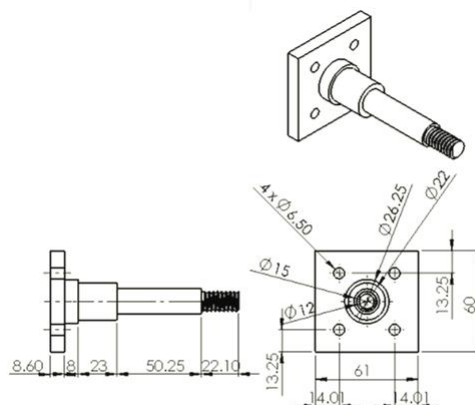


Gambar 2. Komposisi struktur main landing gear [1]

Gambar 1 adalah gambar *main landing gear* LSU-05 dengan roda yang sudah terpasang, sedangkan Gambar 2 adalah gambar material penyusun untuk *main landing gear* LSU-05 yang terdiri dari material *carbon fiber* dan kayu balsa. Kayu balsa digunakan sebagai *core* untuk meningkatkan kekakuan dari struktur *landing gear*. Total ketebalan struktur *landing gear* adalah 20 mm dengan ketebalan *core* sebesar 8 mm. Sedangkan pada Gambar 3 dan 4 adalah gambarudukan roda beserta dimensinya.



Gambar 3. Gambar 3D as roda LSU-05



Gambar 4. Dimensi as roda LSU-05 (mm)

Tujuan penulisan kali ini adalah untuk melakukan pemodelan elemen hingga di *software* Patran/Nastran untuk mengetahui tegangan *von mises* yang terjadi pada as roda *main landing gear* LSU-05.

## 2. DASAR TEORI

Analisis struktur dengan menggunakan perangkat CAE (*Computer Aided Engineering*) multi disiplin dapat menganalisis perilaku fisik dari sebuah model untuk memahami dan meningkatkan kemampuan dari desain yang dihasilkan. Analisis struktur dapat digunakan untuk menghitung tegangan, defleksi lalu memprediksikan perilaku desain pada kehidupan nyata. [5]

Untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada as roda *main landing gear* LSU-05 khususnya tegangan *von mises* maka informasi paling penting untuk diketahui adalah mengenai beban yang diterima struktur as roda tersebut. Asumsi yang digunakan pada tulisan kali ini adalah beban yang diterima as roda adalah beban statik yang nilainya sama dengan beban yang diterima *main landing gear* LSU-05. Asumsi itu diambil karena sebelum beban diterima struktur *main landing gear*, beban tersebut diterima struktur as roda terlebih dahulu.

Beban statik yang diterima *main landing gear* LSU-05 dapat dilihat pada Tabel 1. Pada tabel tersebut dapat dilihat nilai beban pada *main landing gear*. Nilai beban statik maksimum *main landing gear* per kaki adalah 294.23N. Sementara untuk beban pengereman bernilai 235.38 N.

**Tabel 1. Tabel beban statik pada *main landing gear* LSU-05 [6]**

Beban statik maksimum pada <i>main landing gear</i>	588.46 N
Beban statik maksimum pada <i>main landing gear</i> (per kaki)	294.23 N
Beban statik akibat pengereman (per kaki)	235.38 N

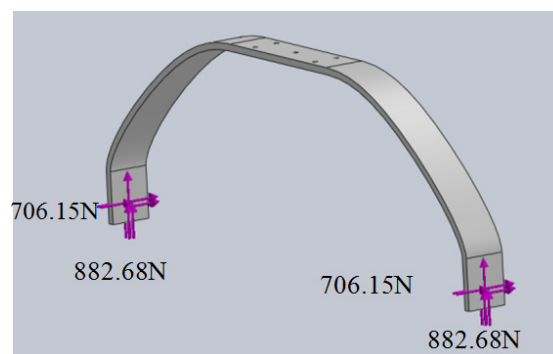
Nilai beban statik maksimum kemudian dikalikan dengan nilai *load factor landing gear*. Nilai *load factor* yang biasa digunakan pada beberapa jenis pesawat dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 2. Tabel *load factor landing gear* [7]**

Aircraft type	$N_{gear}$
Large bomber	2.0-3
Commercial	2.7-3
General aviation	3
Air Force fighter	3.0-4
Navy fighter	5.0-6

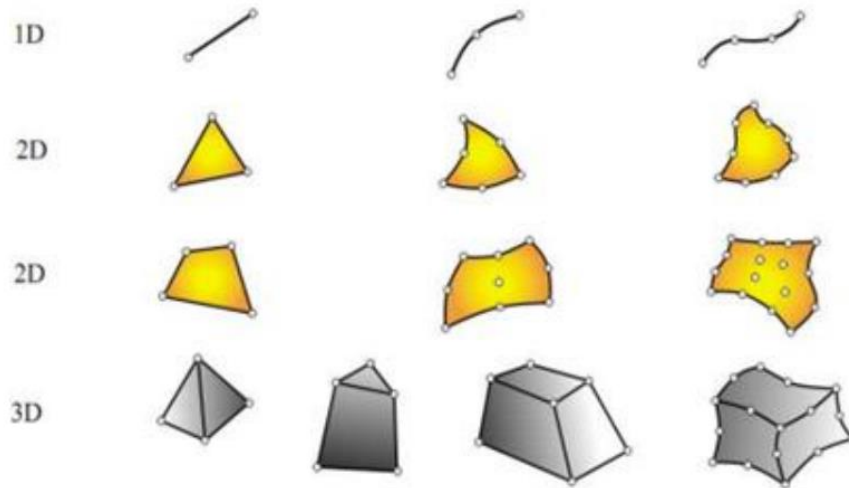
LSU-05 diasumsikan merupakan pesawat pada kategori *general aviation*, oleh karena itu nilai *load factor landing gear* yang digunakan adalah tiga. Dengan nilai *load factor* tiga maka beban yang diterima *main landing gear* per kaki adalah 882.68 N dan beban pengereman sebesar 706.15 N.

Pembebanan pada *main landing gear* sesuai dengan perhitungan di atas dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 5. Pembebanan pada *main landing gear* [6]**

Jenis persoalan ini sebenarnya dapat diselesaikan dengan cara matematis dan numerik. Tetapi untuk benda-benda yang mempunyai bentuk yang tidak teratur, penyelesaiannya akan sulit menggunakan cara matematis. Sehingga perlu digunakan cara numerik, yang dalam perkembangannya disebut sebagai metode elemen hingga (*Finite Element Method*). [8] Pada *software* elemen hingga, jenis elemen yang dapat digunakan biasa dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu: elemen 1D, elemen 2D dan elemen 3D. Seperti namanya, elemen-elemen tersebut dapat diketahui berdasarkan bentuk dari elemen tersebut. [9]



Gambar 6. Jenis elemen

Untuk elemen yang akan digunakan dalam membuat model elemen hingga pada as roda *main landing gear* LSU-05 adalah elemen *hexagonal*. Pemilihan jenis elemen tersebut karena model geometri as roda *main landing gear* LSU-05 berupa model 3D (solid), jadi elemen yang digunakan juga harus berbentuk elemen 3D. Penggunaan elemen lain dirasa kurang representatif untuk dapat memodelkan bentuk as roda *main landing gear* LSU-05 dengan baik.

Salah satu tegangan yang akan dihasilkan dari pemodelan elemen hingga ini adalah tegangan akibat *bending*. Tegangan *bending* ini merupakan tegangan dominan yang terjadi pada as roda *main landing gear*. Berikut adalah formula dari tegangan akibat *bending*. [10]

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I} \quad (1)$$

Di mana,  $\sigma_{max}$  = Tegangan maksimum akibat *bending* yang terjadi pada titik terjauh dari sumbu netral (MPa); M = Resultan dari momen dalam (Nmm); c = Jarak tegak lurus dari sumbu netral ke titik terjauh dari sumbu netral (mm); I = Momen inersia penampang ( $mm^4$ ).

Sedangkan hasil akhir dari pemodelan elemen hingga ini adalah mendapatkan sebuah nilai tegangan yang berasal dari gabungan tegangan-tegangan utama pada area kritis as roda *main landing gear* LSU-05. Salah satu cara mendapatkan tegangan gabungan adalah dengan menggunakan formula tegangan *von mises* yaitu: [11]

$$\sigma_{vm} = \left( \frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] \right)^{0.5} \quad (2)$$

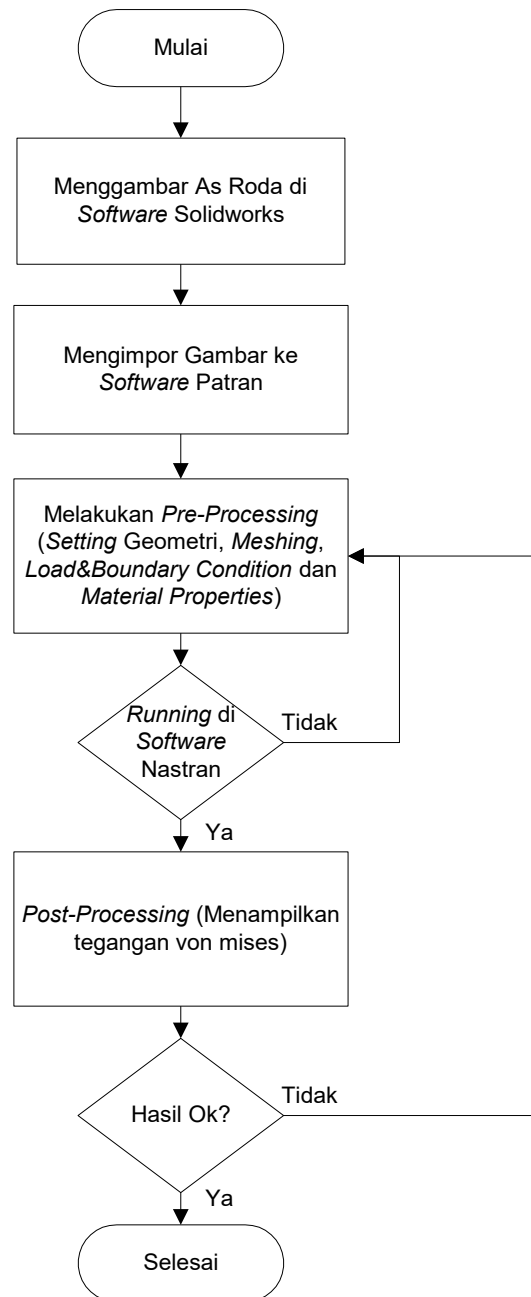
Dimana,  $\sigma_{vm}$  = Tegangan *von mises* (MPa);  $\sigma_1$  = Tegangan utama 1 (MPa);  $\sigma_2$  = Tegangan utama 2 (MPa);  $\sigma_3$  = Tegangan utama 3 (MPa).

Kriteria luluh *von mises* menyatakan bahwa kondisi luluh tidak tergantung pada tegangan normal atau tegangan geser tertentu, melainkan tergantung dari fungsi ketiga harga tegangan geser utama seperti pada persamaan 1 di atas. Karena kriteria luluh *von mises* melibatkan suku pangkat dua, maka hasilnya tidak tergantung dari tanda tegangan individual. [12]

Tegangan *von mises* ini akan digunakan sebagai parameter untuk menentukan jenis material yang akan digunakan untuk membuat as roda *main landing gear* LSU-05 dengan nilai faktor keamanan tertentu.

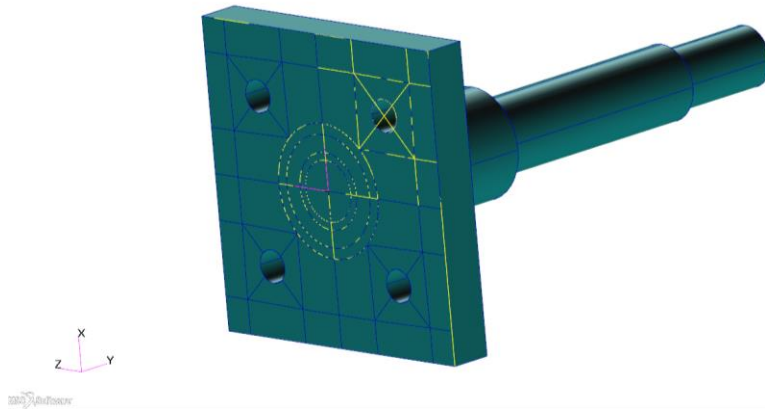
### 3. METODOLOGI

Berikut adalah gambar diagram alir penelitian yang digunakan pada tulisan kali ini.



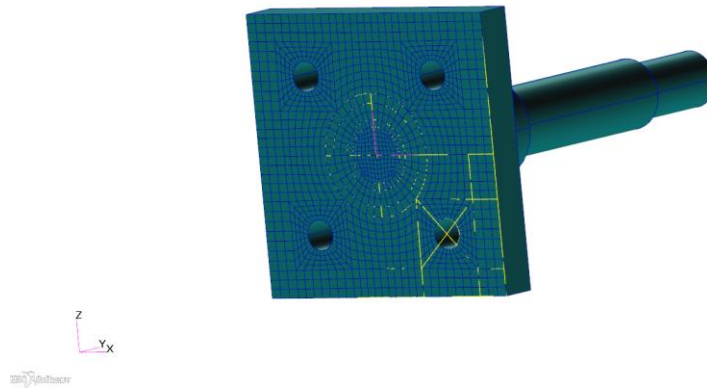
**Gambar 7. Diagram alir penelitian**

Model as roda *main landing gear* LSU-05 dibuat dengan menggunakan *software* Solidworks. Model tersebut kemudian diimpor ke *software* Patran untuk dilakukan *pre-processing*. Tahapan pertama *pre-processing* adalah melakukan *setting* awal pada geometri as roda *main landing gear* LSU-05 dengan cara memotong sedemikian rupa *surface* pada bagian pangkal as roda agar elemen yang dihasilkan proses *meshing* berupa elemen 2D yaitu elemen *quad*. Dengan menggunakan proses *sweep*, elemen-elemen 2D tersebut akan menjadi elemen-elemen 3D dengan bentuk *hexagonal* sesuai dengan bentuk geometri as roda *main landing gear* LSU-05. Gambar 8 di bawah adalah gambar pemotongan *surface* pada pangkal as roda *main landing gear* LSU-05.



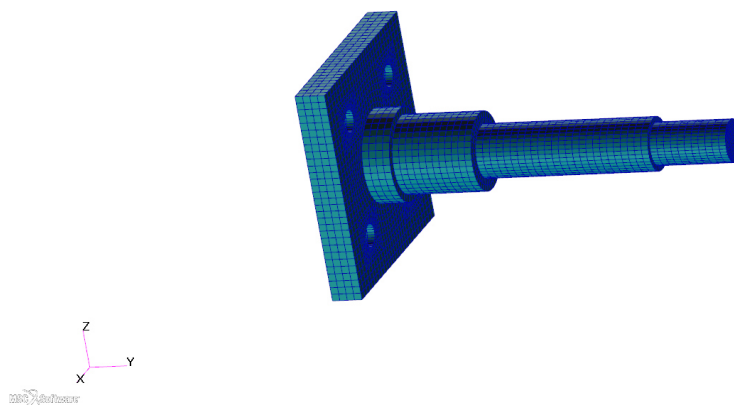
**Gambar 8. Pemotongan surface**

Setelah mendapatkan hasil potongan-potongan *surface* pada pangkal *main landing gear* LSU-05, langkah berikutnya adalah melakukan proses *meshing* pada *surface-surface* tersebut. Berikut adalah elemen-elemen 2D yang dihasilkan pada pangkal as roda LSU-05.



**Gambar 9. Meshing surface**

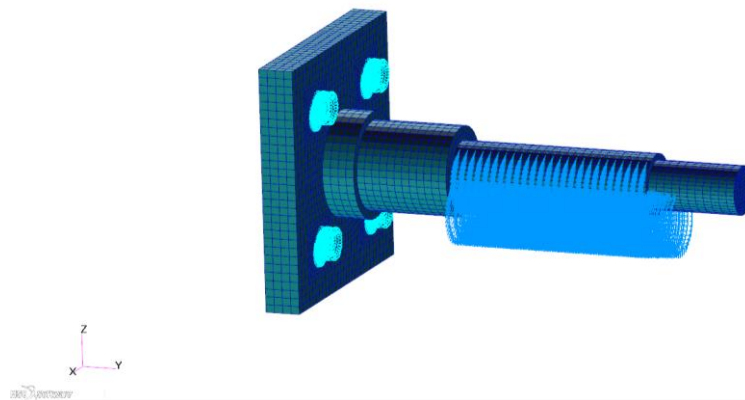
Elemen-elemen 2D yang telah dihasilkan dari gambar di atas kemudian dilakukan proses *sweep* dari pangkal ke ujung mengikuti bentuk geometri as roda *main landing gear* LSU-05. Berikut adalah hasil elemen yang dihasilkan dari proses *sweep* dari geometri *main landing gear* LSU-05.



**Gambar 10. Meshing solid**

Setelah mendapatkan elemen-elemen dari model geometri as roda *main landing gear* LSU-05, kemudian *pre-processing* dilanjutkan dengan pendefinisian pembebanan dan kondisi batas. Untuk pembebanan, karena beban yang diterima as roda diasumsikan sama dengan beban yang diterima *main landing gear*, maka pembebanan yang digunakan adalah pembebanan arah x dan z. Pembebanan pada model ini menggunakan *total load* sesuai beban yang diterima per kaki *main landing gear*. Kondisi batas untuk model as roda *main landing gear* menggunakan pin yang diasumsikan sesuai dengan kondisi asli

pemasangan as roda terhadap *main landing gear* LSU-05. Kondisi pin berarti tidak memungkinkan adanya translasi ke arah x, y dan z. Untuk gambaran lebih jelas dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 11. Pembebanan dan kondisi batas

Sedangkan untuk *aterial properties* yang digunakan adalah *material properties* aluminium dengan nilai modulus elastisitas sebesar 69.000 MPa dan *poisson's ratio* sebesar 0,33. Langkah akhir setelah semua *pre-processing* dilakukan adalah melakukan *running* pada *software* Nastran yang merupakan *solver*, kemudian hasilnya divisualisasikan kembali oleh *software* Patran. Oleh karena itu *software* Patran dikenal sebagai *software pre and post-processing*.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

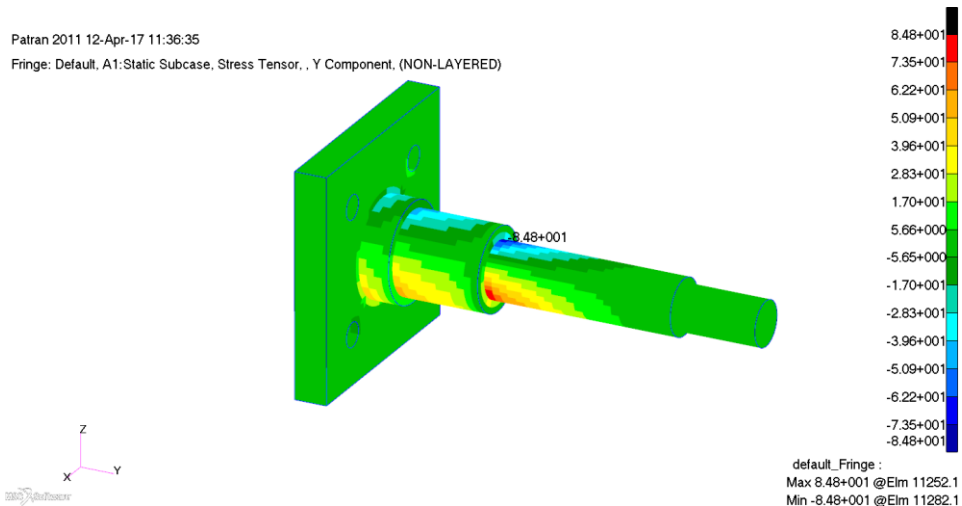
Ketika beban yang diberikan pada as roda *main landing gear* LSU-05 ke arah x dan z, maka secara otomatis *software* Patran akan menampilkan nilai resultan dan sudut seperti terlihat pada Gambar 12. Untuk nilai resultan beban sendiri bernilai 1130,39 N dan sudut yang dihasilkan adalah 38,66° terhadap arah z.

Sementara itu, hasil yang didapatkan di data f06 yang dihasilkan *software* Nastran agak sedikit berbeda dengan tampilan yang ada di *software* Patran. Dalam tampilan data f06 beban yang diberikan arah x dan z tidak dijadikan sebagai resultan akan tetapi kedua beban arah x dan z tersebut ditampilkan semuanya. Berikut adalah data yang didapat dari data f06 yang ditampilkan dalam gambar.

SUBCASE/ DAREA	ID	LOAD TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3	
0	1	FX	-7.061497E+02	----	----	----	8.838852E-02	4.570554E+04	
		FY	----	0.000000E+00	----	0.000000E+00	----	0.000000E+00	
		FZ	----	----	8.826797E+02	5.713145E+04	-1.117846E-01	----	
		MX	----	----	----	0.000000E+00	----	----	
		MY	----	----	----	----	0.000000E+00	----	
		MZ	----	----	----	----	----	0.000000E+00	
		TOTALS	-7.061497E+02	0.000000E+00	8.826797E+02	5.713145E+04	-2.339613E-02	4.570554E+04	
1		MSC.NASTRAN JOB CREATED ON 17-FEB-15 AT 07:34:56							
							OCTOBER 14, 2016	MD NASTRAN 4/27/11 PAGE 6	

Gambar 12. Data f06

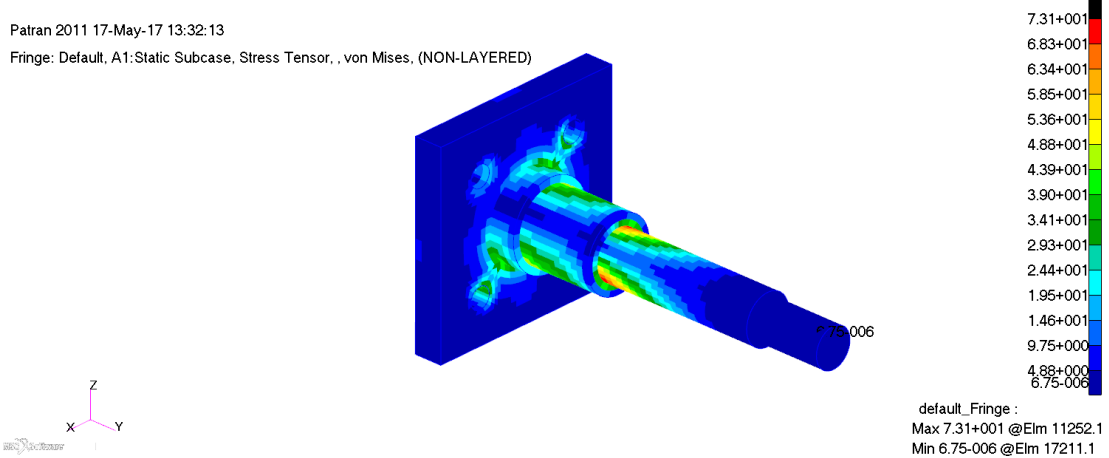
Gambar di atas adalah gambar yang diambil dari data f06 yang dihasilkan oleh *software* Nastran. T1 dan T3 (dalam N) pada gambar di atas adalah beban yang diberikan pada model as roda *main landing gear* LSU-05, sementara itu momen hasil pembebanan T1 dan T3 dengan jarak ke pangkal as roda ditampilkan dalam bentuk R3 dan R1 (dalam Nmm). Yang perlu diperhatikan selanjutnya adalah *software* Patran/Nastran akan melakukan pembulatan dari angka-angka yang diinputkan. Sebagai contoh adalah beban arah x yang diinputkan sebesar -706,15 akan dibaca *software* Patran/Nastran menjadi -706,1497. Dari nilai-nilai tersebut di atas didapatkan nilai tegangan akibat *bending* pada as roda *main landing gear* LSU-05 seperti gambar di bawah ini.



Gambar 13. Kontur tegangan akibat *bending* (MPa)

Dari gambar di atas terlihat bahwa bagian atas dari area kritis yang berwarna biru memiliki nilai sebesar -84,8 MPa (tekan) dan bagian bawah dari area kritis yang berwarna merah memiliki nilai sebesar 84,8 MPa (tarik). Area kritis tersebut terletak pada lokasi pertemuan antara batang diameter 15 mm dengan batang diameter 22 mm.

Dengan menggunakan persamaan 1, maka akan didapatkan nilai tegangan akibat *bending* secara analitik sebesar 85,71 MPa. Dari dua nilai tegangan akibat *bending* menggunakan model elemen hingga dan analitik didapatkan perbedaan sebesar 1% yang berarti pemodelan elemen hingga pada as roda *main landing gear* LSU-05 sudah cukup baik. Berikut adalah hasil kontur tegangan *von mises* pada as roda *main landing gear* LSU-05.



Gambar 14. Kontur tegangan *von mises* (MPa)

Dari gambar di atas terlihat nilai maksimum tegangan *von mises* adalah sebesar 73,1 MPa. Nilai maksimum tersebut berada pada elemen 11252 di lokasi yang sama dengan area kritis pada kontur tegangan akibat *bending* pada Gambar 13 di atas. Nilai maksimum tegangan *von mises* juga membentuk sudut tertentu terhadap arah z yang merupakan sudut yang sama akibat resultan beban yang diberikan.

Untuk lebih detail tentang tegangan-tegangan utama yang menghasilkan tegangan *von mises* dapat dilihat pada gambar berikut.

```

0 11252 0GRID CS 8 GP
1 MSC,NASTRAN JOB CREATED ON 17-FEB-15 AT 07:34:56 APRIL 12, 2017 MD NASTRAN 4/27/11 PAGE 8985
  DEFAULT
0 SUBCASE 1

0 STRESSES IN HEXAHEDRON SOLID ELEMENTS (HEXA)
  -----CENTER AND CORNER POINT STRESSES-----
  CORNER GRID-ID NORMAL SHEAR PRINCIPAL DIR. COSINES MEAN PRESSURE VON MISES
0 ELEMENT-ID CENTER X 1.745309E+01 XY -1.042640E+01 A 8.843649E+01 LX-0.14-0.64-0.76 -3.98076E+01 7.313999E+01
  Y 8.481516E+01 YZ 1.239087E+01 B 1.239786E+01 LY 0.98-0.22 0.00
  Z 1.715475E+01 ZX 1.277260E+00 C 1.858866E+01 LZ 0.17 0.74-0.65
    
```

Gambar 15. Nilai tegangan pada elemen 11252



Gambar di atas diambil dari data f06 yang dihasilkan *software* Nastran. Untuk nilai maksimum *von mises* terjadi pada elemen 11252 memiliki nilai tegangan utama arah 1 sebesar 88,43 MPa, tegangan utama arah 2 sebesar 12,39 MPa dan tegangan utama arah 3 sebesar 18,58 MPa. Dari tegangan-tegangan utama yang dihasilkan dapat disimpulkan bahwa terdapat sebuah tegangan yang dominan dibandingkan tegangan yang lain. Untuk kasus ini adalah tegangan arah 1 yang berasal dari tegangan akibat *bending*.

Dari persamaan (2) maka didapatkan hasil nilai maksimum *von mises* dari tegangan utama arah 1, 2 dan 3 adalah sebesar 73,14 MPa sama seperti nilai yang ditampilkan pada *software* Patran pada Gambar 12 di atas.

## 5. KESIMPULAN

Pembebanan yang diberikan pada as roda *main landing gear* LSU-05 yang diasumsikan merupakan beban statik ke arah x dan z akan menghasilkan tiga buah tegangan utama pada seluruh elemen. Pada elemen 11252 yang merupakan elemen kritis, tiga buah tegangan utama tersebut adalah tegangan utama arah 1 yang bernilai 88,43 MPa, tegangan utama arah 2 yang bernilai 12,39 MPa dan tegangan utama arah 3 sebesar 18,58 MPa. Dari ketiga tegangan utama tersebut akan menghasilkan tegangan *von mises* sebesar 73,14 MPa.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin berterima kasih kepada Bapak Drs. Gunawan S. Prabowo, MT sebagai Kepala Pusat Teknologi Penerbangan dan Bapak Ir. Atik Bintoro, MT atas fasilitas dan dukungan yang diberikan kepada penulis dalam melakukan kegiatan penelitian ini.

## PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi menjadi tanggung jawab penulis.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wandono. Fajar. A, Ardiansyah. R, dan Hidayat. D. 2014. Analisis Kegagalan Pada Struktur Rangka Main landing gear LSU-05 Berdasarkan Kriteria Kegagalan Tsai-Hill. Serpong. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.
- [2] Gowda. A.C, Basha. S. Novid. 2014. Linear Static and Fatigue Analysis of Nose Landing gear for Trainer Aircraft. STM Journals Volume 4
- [3] Al-Bahkali. E. A. 2013. Analysis of Different Designed Landing gears for Light Aircraft. International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering Vol. 7.
- [4] Joel. P. Praveen, R. Vijayan. 2014. Design and Stress Analysis of Nose Landing gear Barrel (NLGB) of A Typical Naval Trainer Aircraft. IOSR-JMCE Vol. 11 Ver. III.
- [5] Ganorkar. K, Deshbhratar. V. 2014. Design Optimization of Landing gear of An Aircraft - A Review. IOSR-JMCE.
- [6] Ardiansyah. R, Hidayat. D, Nugroho. A. 2014. Design and Analysis of Main landing gear Frame of LSU-05 By Finite Element Method. ISAST.
- [7] Al-banaa. A.S.A, Ali. S.M.J, Pires. R. 2014. Stress Analysis on Main landing gear for Small Aircraft. Al-Rafidain Engineering Vol.22 No.1
- [8] Abidin. Z, Rama. B. R, 2015. Analisa Distribusi Tegangan dan Defleksi Connecting Rod Sepeda Motor 100 CC Menggunakan Metode Elemen Hingga. Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 15

- [9] Wai. C. M, Rivai. A, Bapokutty. O, 2013. Modelling Optimization Involving Different Types of Elements In Finite Element Analysis. 2nd International Conference on Mechanical Engineering Research (ICMER).
- [10] Hidayat. D, Nugroho. A, Wirawan. N. 2015. Optimasi Berat Struktur Tail Boom LSU-05 Akibat Tegangan Lentur Dari Aspek Bentuk Penampang Geometri. Siptekgan
- [11] Zainuri. A, Sujita, Popo. A. L. 2010. Tegangan Maksimum dan Faktor Keamanan Pada Poros Engkol Daihatsu Zebra Espass Berdasarkan Metode Numerik. Momentum Vol.6 No.2
- [12] Awwaluddin. M, Purwanta. E. 2014. Analisis Statik Support Pemegang Sumber Pada Prototip Pencitraan Peti Kemas Menggunakan ANSYS. Jurnal Perangkat Nuklir Volume 8, Nomor 01. ISSN No. 1978-3515

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

### DATA UMUM

Nama Lengkap : Fajar Ari Wandono  
Tempat & Tgl. Lahir : Jakarta & 4 Januari 1985  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Instansi Pekerjaan : Pusat Teknologi Penerbangan, LAPAN  
NIP. / NIM. : 198501042010121001



### DATA PENDIDIKAN

SLTA : SMUN 1 Bekasi Tahun: 2000  
STRATA 1 (S.1) : Universitas Diponegoro Tahun: 2003

### ALAMAT

Alamat Kantor / Instansi : Jl. Raya LAPAN Rumpin, Ds.Sukamulya, Rumpin, Bogor  
Telp. : 0218860519  
Email : fajar.ari@lapan.go.id  
fajarariwandono@yahoo.com