

PREDIKSI KEKUATAN STRUKTUR ALAT UJI GETARAN ENGINE LSU SERIES MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA (STRENGTH PREDICTION OF THE ENGINE VIBRATION TEST STAND OF LSU SERIES USING FINITE ELEMENT METHOD)

Fajar Ari Wandono¹, Agus Harno Nurdin Syah

Pusat Teknologi Penerbangan

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Jl. Raya LAPAN, Sukamulya, Rumpin, Bogor 16350 Indonesia

¹e-mail: fajarariwandono@yahoo.com

Diterima 30 Oktober 2017.; Direvisi 30 November 2017; Disetujui 6 Desember 2017

ABSTRACT

In order to know about vibration characteristics of a combination between engine and propeller used in LAPAN Surveillance UAV (LSU) series, it needs a test apparatus called the engine vibration test stand. The engine vibration test stand structure must be strong and stiff to get good result in engine vibration test. In the initial phase, the engine vibration test stand was made of 1 meter length of ASTM A36 material with H shape and the lower part of it was bolted to the reinforced floor. By using a finite element method software and inputting some parameters from engine DA-170 and mechanical properties of ASTM A36, the engine vibration test stand had safety factor of 26,24. Furthermore, the top five natural frequencies were 61,94 Hz, 77,18 Hz, 93,79 Hz, 212,23 Hz and 286,24 Hz.

Keywords: *vibration characteristics, engine vibration test stand, ASTM A36 material, DA-170 engine, finite element method, safety factor, natural frequencies*

ABSTRAK

Untuk mengetahui karakteristik getaran dari kombinasi *engine* dan *propeller* yang digunakan pada LAPAN *Surveillance UAV (LSU) series* maka diperlukan sebuah alat uji yang disebut alat uji getaran *engine (AUGE)*. Struktur AUGE harus dibuat kuat dan kaku untuk mendapatkan hasil uji getaran *engine* yang baik. Sebagai langkah awal telah dibuat sebuah AUGE yang terbuat dari material ASTM A36 yang berbentuk H setinggi 1 meter dengan bagian bawahnya dibaut ke sebuah lantai yang sudah diperkuat. Dengan menggunakan *software* metode elemen hingga dan memasukkan parameter *engine DA-170* serta sifat mekanik ASTM A36 didapatkan bahwa struktur AUGE tersebut memiliki nilai faktor keamanan sebesar 26,24. Adapun lima nilai pertama frekuensi pribadi dari struktur tersebut adalah 61,94 Hz, 77,18 Hz, 93,79 Hz, 212,23 Hz dan 286,24 Hz.

Kata kunci: karakteristik getaran, alat uji getaran *engine*, material ASTM A36, *engine DA-170*, metode elemen hingga, faktor keamanan, frekuensi pribadi

1 PENDAHULUAN

Industri penerbangan telah banyak menghasilkan *unmanned aerial vehicle (UAV)* dan menjaga kerahasiaan banyak data mengenai sistem propulsi (Brezina & Thomas, 2012). Salah satu data yang sulit didapatkan berkaitan dengan sistem propulsi adalah data tentang getaran yang dihasilkan dari kombinasi *engine* dan *propeller* yang digunakan. Getaran tersebut akan mempengaruhi struktur UAV dan *payload* yang dapat berdampak pada misi yang sedang dijalankan. Kasus yang biasa terjadi akibat kurangnya informasi mengenai getaran yang berasal dari kombinasi *engine* dan *propeller* adalah ketika melakukan foto udara yang mendapatkan hasil foto yang kurang fokus.

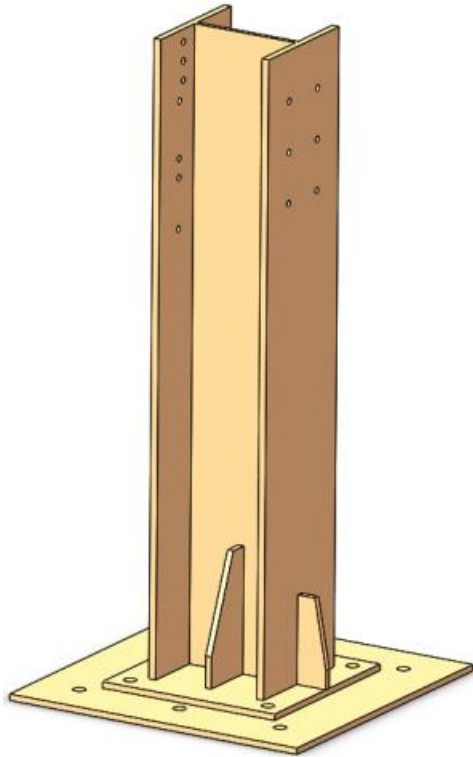
Alat uji getaran *engine (AUGE)* adalah sebuah sarana penunjang untuk mengetahui karakteristik getaran dari kombinasi *engine* dan *propeller* yang akan digunakan pada *LSU series* yang dikembangkan oleh Pustekbang LAPAN. Sejauh ini, Pustekbang LAPAN sudah mengembangkan lima buah *LSU series* yaitu: LSU-01, LSU-02, LSU-03, LSU-04 dan LSU-05.

AUGE harus memiliki struktur yang kuat ketika menerima beban dari kombinasi *engine* dan *propeller* yang sedang bekerja untuk mencegah kecelakaan saat pengujian. Selain itu, untuk mendapatkan hasil karakteristik

getaran *engine* dan *propeller* yang baik maka struktur AUGE harus didesain kaku agar tidak menimbulkan resonansi ketika pengujian. Dapat dikatakan bahwa struktur AUGE harus dibuat kuat dan kaku untuk mendapatkan hasil uji yang baik.

Struktur utama AUGE ini berupa *H-beam* sepanjang 1 meter yang dipasang di atas lantai yang sudah diperkuat. AUGE ini akan digunakan untuk pengujian *engine LSU series* seperti *engine LSU-02, LSU-03, LSU-4 dan LSU-05*. Pada proses pengujian, *engine* akan dibaut pada batang *beam* yang terlebih dahulu sudah dilubangi. Karena akan digunakan untuk pengujian beberapa *engine LSU series*, maka terdapat beberapa lubang yang mewakili kedudukan baut dari *engine LSU series*.

LSU-05 adalah varian *LSU series* yang terbesar yang pernah dibuat Pustekbang LAPAN. Spesifikasi LSU-05 sesuai *Design Requirements and Objectives (DR&O)* adalah *Maximum Take-off Weight (MTOW)* sebesar 75 kg dengan panjang bentang sayap 5,5 meter. Sedangkan panjang dan tinggi LSU-05 berturut-turut adalah 3,9 meter dan 1,1 meter. (Wandono, 2015) Karena merupakan varian *LSU series* terbesar, maka kombinasi *engine* dan *propeller LSU-05* dijadikan sebagai dasar dalam mendesain AUGE.



Gambar 1-1: Gambar AUGE

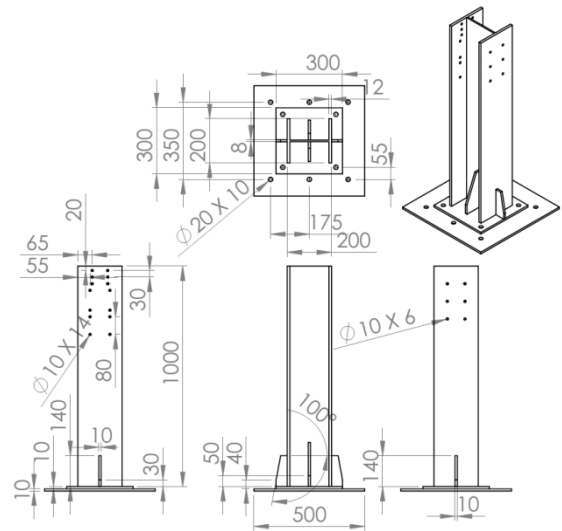
Karakteristik getaran dari kombinasi *engine* dan *propeller* yang diperoleh dari hasil pengujian akan digunakan sebagai acuan untuk menguji struktur LSU series dan *payload*. Untuk pengujian *payload*, selanjutnya dilakukan upaya penelitian untuk meredam tingkat getaran dengan melakukan perhitungan dan pemilihan jenis peredam yang cocok digunakan untuk mengatasi masalah getaran yang terjadi. (Mujtahid, 2015)

Tujuan dari tulisan ini adalah untuk mengetahui kekuatan struktur AUGE akibat pembebanan statik dari kombinasi *engine* dan *propeller* pada LSU-05 serta nilai frekuensi alami dari struktur AUGE tersebut.

2 TINJAUAN PUSTAKA

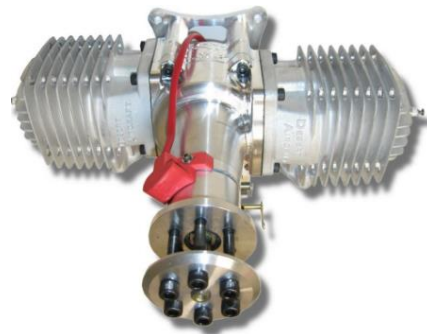
Berikut adalah gambar teknik dari struktur AUGE yang sudah dibuat oleh Pustekbang LAPAN.

Untuk mengetahui kekuatan dan kekakuan dari struktur AUGE, maka diperlukan beberapa parameter dari *engine*, *propeller*, dan material yang digunakan untuk membuat struktur AUGE.



Gambar 2-1: Gambar teknik AUGE (mm)

Berikut adalah spesifikasi dari *engine* yang digunakan pada LSU-05 yang merupakan *engine* DA-170.



Gambar 2-2: Engine DA-170 (Desert Aircraft, 2016)

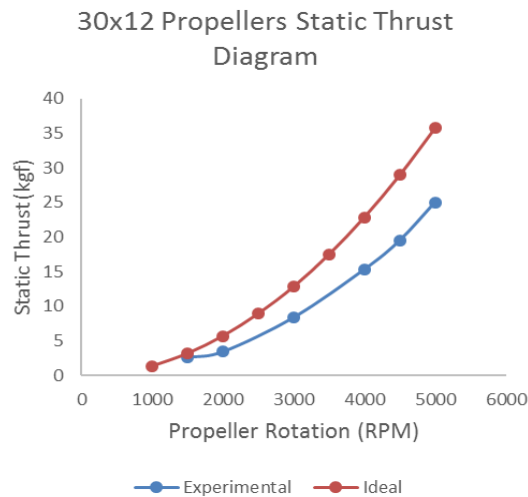
Tabel 2-1: SPESIFIKASI ENGINE DA-170 (Desert Aircraft, 2016)

<i>Displacement</i>	171,8 cc
<i>Mass</i>	3,56 kg
<i>Bore</i>	52 mm
<i>Stroke</i>	40,49 mm
<i>Length</i>	195 mm
<i>RPM Range</i>	1100 to 6500
<i>RPM Max</i>	9200
<i>Fuel Consumption</i>	4 oz/min @6000 RPM
<i>Warranty</i>	3 Years
<i>Bolt Circle</i>	34 mm
<i>Prop Bolt</i>	6 mm

Dari Tabel 2-1, parameter *engine* DA-170 yang digunakan adalah massa *engine* yaitu sebesar 3,56 kg.

Untuk parameter berupa gaya dorong, data tersebut didapatkan dari

hasil pengujian *engine* DA-170 dengan menggunakan *propeller* 30x12 (massa *propeller* 0,44 kg) yang telah dilakukan oleh Laboratorium Propulsi, Pustekbang. Berikut adalah hasil yang didapatkan.



Gambar 2-3: Diagram Static Thrust vs RPM (Soemaryanto, et al., 2014)

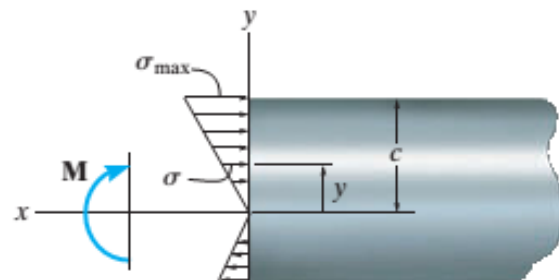
Dari Gambar 2-3 dapat diketahui bahwa hasil pengujian *engine* DA-170 menggunakan *propeller* 30x12 menghasilkan nilai *static thrust* sebesar kurang lebih 25 kgf pada 5000 rpm. Hasil tersebut masih lebih kecil dibandingkan dengan nilai ideal yaitu kurang lebih 35 kgf pada rpm yang sama. Jadi, untuk parameter gaya dorong dipilih nilai terbesar yaitu 35 kgf.

Parameter lain yang digunakan adalah nilai sifat mekanik material yang digunakan. Material yang digunakan untuk membuat struktur AUGÉ adalah material ASTM A36. Berikut adalah tabel dari sifat mekanik material tersebut.

Tabel 2-2: TABEL SIFAT MATERIAL ASTM A36 (Musa, et al., 2016)

No	Temperature (K)	Specific heat (J/kg.K)	Conductivity (W/m.K)	Yield stress (MPa)	Thermal Expansion Coeff. (10 ⁻⁶ /K)	Young's Modulus (GPa)
1	273	480	60	380	1.1	210
2	373	500	50	340	1.15	200
3	473	520	45	315	1.2	200
4	673	650	38	230	1.3	170
5	873	750	30	110	1.42	80
6	1073	1000	25	30	1.45	35
7	1273	1200	26	25	1.45	20
8	1473	1400	28	20	1.45	15
9	1673	1600	37	18	1.45	10
10	1823	1700	37	15	1.45	10

Ketika sebuah struktur *beam* terkena beban tegak lurus dari luar, maka akan terjadi gaya geser internal (*internal shear force*) dan momen lentur internal (*internal bending moment*) yang nilainya dapat bervariasi sepanjang sumbu struktur *beam* tersebut. Nilai-nilai tersebut kemudian diplot ke dalam diagram gaya geser dan diagram momen lentur yang dijadikan masukan untuk perhitungan tegangan lentur (*bending stress*). Berikut adalah hubungan formula yang digunakan untuk menghitung tegangan lentur.



Gambar 2-4: Variasi tegangan lentur (Hibbeler, 2011)

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I} \quad (2-1)$$

Disini σ_{max} adalah tegangan lentur maksimum yang terjadi pada titik terjauh dari sumbu netral (MPa). M adalah resultan dari momen lentur dalam (Nmm). c adalah jarak tegak lurus dari sumbu netral ke titik maksimal dari sumbu netral (mm). sedangkan I adalah momen inersia penampang (mm⁴).

Untuk mengetahui kegagalan yang terjadi pada sebuah struktur, maka digunakan nilai tegangan Von Mises. Adapun formula tegangan Von Mises dapat dilihat pada persamaan berikut.

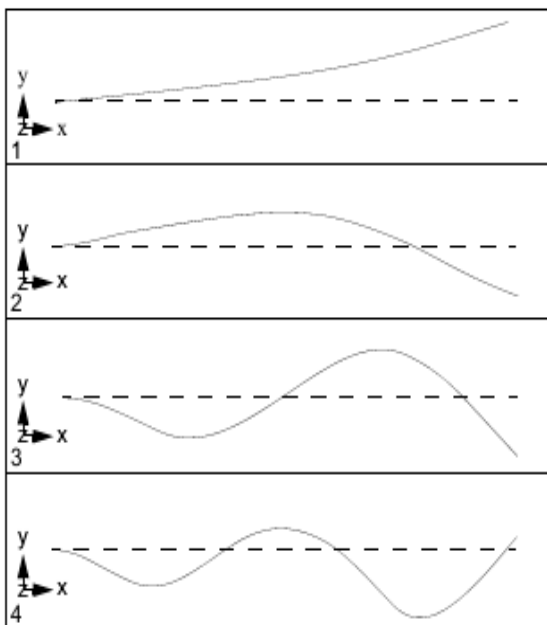
$$\sigma' = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}} \quad (2-2)$$

Disini σ' adalah tegangan Von Mises (MPa) sedangkan $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ adalah tegangan prinsipal arah 1, 2 dan 3 (MPa).

Dengan menggunakan formula di atas, kegagalan akan terjadi ketika $\sigma' > \sigma$

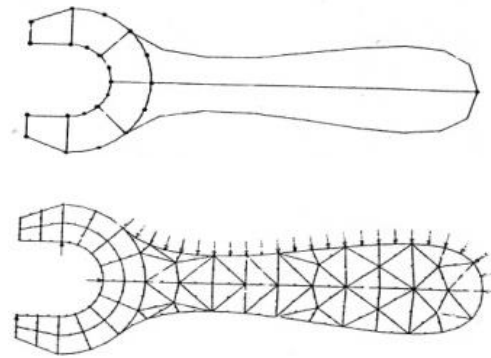
tegangan luluh material yang digunakan. (Purnomo & Satrijo, 2011)

Frekuensi pribadi struktur adalah frekuensi dimana struktur secara alami cenderung untuk bergetar jika struktur terkena gangguan. Contohnya, senar piano yang dimainkan akan bergetar pada frekuensi khusus. Bentuk defleksi struktur pada frekuensi pribadi khusus getaran dinamakan sebagai modus normal getaran. Beberapa istilah lain digunakan untuk menjelaskan modus normal adalah bentuk modus (*mode shape*). (Satrijo, et al., 2005)



Gambar 2-5: Empat nilai pertama bentuk modus dari *beam* kantilever (Abduruohman, et al., 2015)

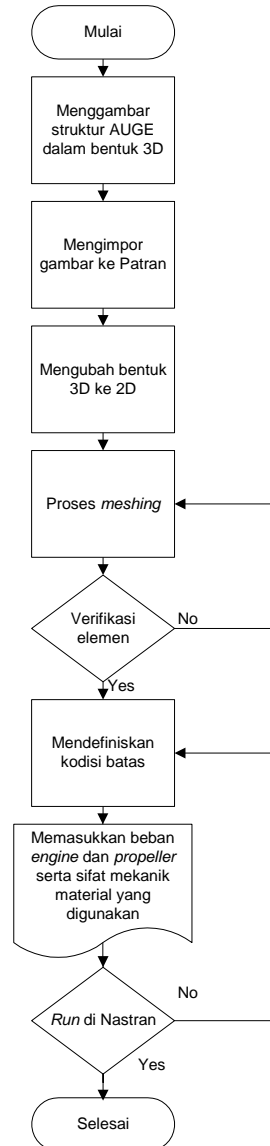
Pengerjaan kasus-kasus di atas pada struktur AUGÉ akan menggunakan *software* metode elemen hingga (*finite element method*). Secara garis besar metode elemen hingga adalah suatu cara untuk menyelesaikan mekanika kontinum (*continuum mechanics*) dengan cara melakukan diskritisasi. Seperti yang terlihat pada Gambar 2-6 yang menunjukkan bagaimana suatu struktur kontinum dibagi menjadi sejumlah elemen berhingga yang masing-masing elemen terhubung melalui titik-titik nodal. (Hidayat, et al., 2015) (Kuntjoro, 2011)



(A) Actual Problem (b) FE Model
 Gambar 2-6: Diskritisasi (*meshing*) struktur (Hidayat, et al., 2015) (Kuntjoro, 2011)

3 METODOLOGI

Berikut adalah gambar dari diagram alir yang digunakan pada tulisan ini.

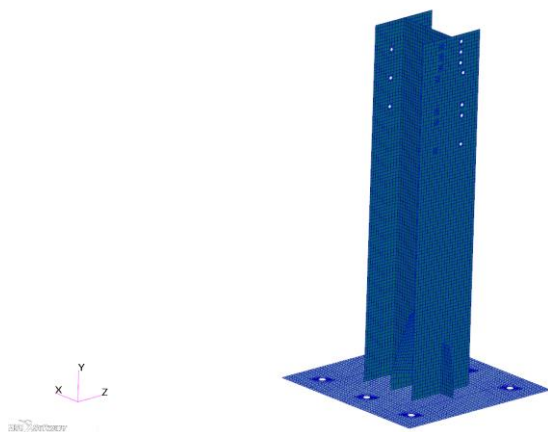


Gambar 3-1: Diagram alir penelitian

Tulisan ini dimulai dengan menggambar struktur AUGÉ berbentuk 3D dengan menggunakan *software* Solidworks yang merupakan *software* *Computer Aided Design* (CAD). Kemudian format gambar yang dihasilkan pada Solidworks diubah sehingga dapat dikenali oleh *software* Patran. Format gambar yang digunakan pada tulisan kali ini adalah format parasolid.

Di Patran, gambar struktur AUGÉ diubah menjadi elemen-elemen sederhana dengan menggunakan proses *meshing*. Elemen yang digunakan pada model struktur AUGÉ adalah elemen Quad4 dan Tria3. Untuk hasil yang lebih baik, penggunaan elemen Quad harus diperbanyak dibandingkan elemen Tria, karena Tria bersifat lebih kaku dibandingkan dengan elemen Quad. Penggunaan elemen Tria yang berlebih mengakibatkan model struktur menjadi lebih kaku. Elemen Tria dapat digunakan ketika menemukan bentuk geometri yang sulit, area transisi atau pada area dimana hasil yang nanti didapatkan tidak terlalu dipertimbangkan.

Selain itu, elemen lain yang digunakan adalah RBE3. RBE3 adalah elemen satu dimensi yang digunakan untuk mentransfer gaya, (Nastran, 2008) pada kasus ini berarti mentransferkan gaya dari *engine* ke dudukan *engine*.



Gambar 3-2: Struktur test stand setelah di-meshing

Proses *meshing* dilakukan pada *software* Patran dengan menghasilkan

elemen Quad4 sejumlah 11287 dan Tria3 sejumlah 1. Elemen-elemen tersebut kemudian diverifikasi untuk mengetahui kualitas dari elemen yang dihasilkan. Adapun verifikasi elemen yang dilakukan antara lain: verifikasi batas, *duplicate*, normal, *aspect ratio*, *warp*, *skew* dan *taper*.

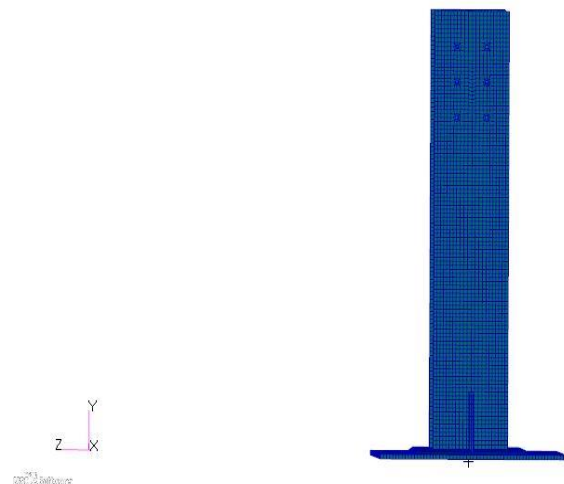
Test	Total Failed	Worst Case	All Element
Aspect	0	Max=0.8028618	10137
Warp	0	Max=3.778001E-008	18789
Skew	0	Min=0.433055	2182
Taper	0	Max=4.4631842	18727
Normal Offset	0	Min=0	0

Gambar 3-3: Verifikasi elemen Quad

Test	Number Failed	Worst Case	All Element
Aspect	0	Max=1.0224669	18834
Skew	0	Min=0.443029	18834
Normal Offset	0	Min=0	0
Tangent Offset	0	Min=0	0
Jacobian Ratio	0	Min=1	18834

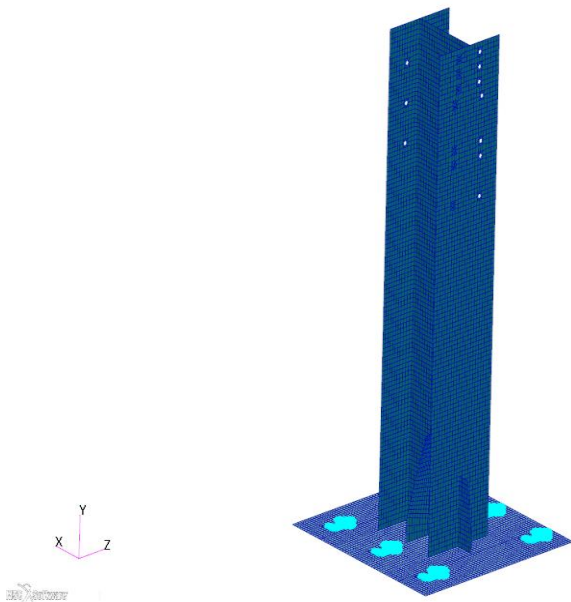
Gambar 3-4: Verifikasi elemen Tria

Gambar 3-3 dan 3-4 di atas adalah gambar box verifikasi elemen pada Patran. Verifikasi didasari pada parameter batasan standar Patran seperti *aspect ratio*, *warp*, *skew*, *taper* dll dengan parameter elemen yang dihasilkan. Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa semua elemen yang dihasilkan tidak ada satupun parameter yang melebihi batasan standar, hal ini berarti elemen yang dihasilkan sudah cukup baik.



Gambar 3-5. Verifikasi bentuk

Gambar 3-5 adalah verifikasi bentuk yang menampilkan bentuk 3D dari hasil proses *meshing* 2D. Biasanya verifikasi ini digunakan jika model menggunakan bentuk elemen 1D dan 2D. Verifikasi ini bertujuan untuk meyakinkan elemen 2D yang dibuat sesuai dengan gambar desain 3D. Untuk kasus ini yang menjadi perhatian adalah dua buah plat yang berbeda dimensi pada dasar AUGE yang harus diverifikasi, apakah sudah sesuai seperti gambar desain 3D atau belum. Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa bentuk elemen hasil proses *meshing* sudah sesuai dengan gambar desain.



Gambar 3-6: Kondisi batas

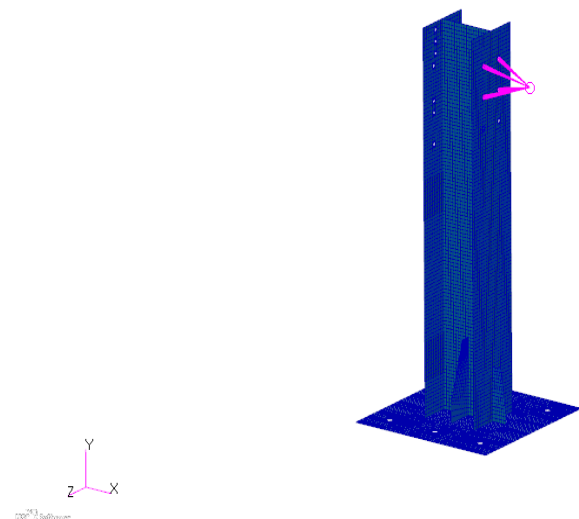
Proses berikutnya adalah dengan memasukkan kondisi batas yang sesuai dengan kondisi pemasangan AUGE terhadap rantai. Pada kenyataannya pemasangan AUGE terhadap rantai menggunakan enam buah baut agar struktur AUGE tidak bergerak jika diberi beban. Oleh karena itu, kondisi batas yang digunakan adalah dengan menggunakan jenis *pinned*, yaitu dengan tidak boleh bertranslasinya nodal-nodal ke arah x, y dan z. Tetapi, jenis *pinned* ini membolehkan nodal-nodal tersebut berotasi terhadap sumbu x, y dan z.

Tabel 3-1: TABEL *BOUNDARY CONDITION* (Nguyen, 2010)

	T _x	T _y	T _z	R _x	R _y	R _z
Fixed	x	x	x	x	x	x
Pinned	x	x	x			
No Rotation				x	x	x
X symmetry	x				x	x
Y symmetry		x		x		x
Z symmetry			x	x	x	
X antisymmetric			x	x	x	
Y antisymmetric	x		x		x	
Z antisymmetric	x	x				x

Penggunaan jenis *pinned* lebih representatif dengan kondisi pemasangan jika dibandingkan dengan penggunaan jenis *fixed* yang tidak memperbolehkan adanya translasi dan rotasi pada nodal-nodal tersebut. Penggunaan *fixed* lebih cocok untuk jenis batang kantilever dibandingkan dengan kasus AUGE di atas.

Untuk pembebanan, struktur AUGE dikenakan beban statik berupa gaya dorong serta berat *engine* dan *propeller*. Beban statik tersebut diberikan dari sebuah titik tertentu di luar struktur yang diasumsikan merupakan *center of gravity* dari *engine*. Adapun nilai gaya dorong yang diberikan adalah sebesar -350 N ke arah sumbu x serta berat *engine* dan *propeller* sebesar -40 N ke arah sumbu y.

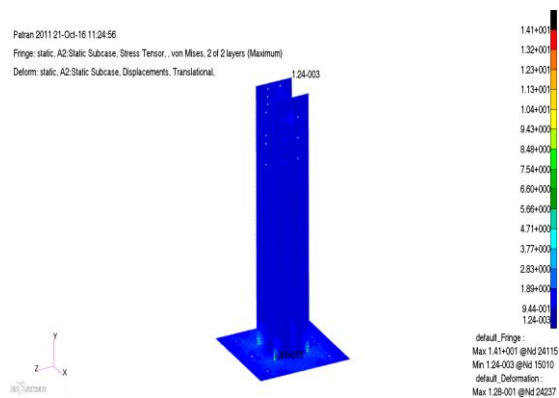


Gambar 3-7: Pembebanan pada struktur AUGE

4 HASIL DAN ANALISIS SIMULASI

Setelah melakukan simulasi terhadap struktur AUGE dengan menggunakan *software* metode elemen

hingga, berikut adalah hasil yang didapatkan.



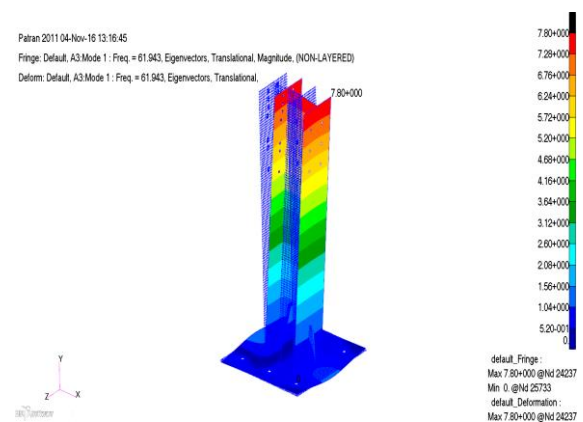
Gambar 4-1: Nilai tegangan Von Mises (MPa)

Gambar di atas menampilkan kontur tegangan Von Mises yang terjadi jika struktur AUGÉ diberi beban statik berupa gaya dorong sebesar -350 N ke arah sumbu x serta berat *engine* dan *propeller* sebesar -40 N ke arah sumbu y. Tegangan Von Mises maksimal sebesar 14,1 MPa terjadi pada nodal 24115 seperti Gambar 4-1. Adapun nilai defleksi maksimal sebesar 0,128 mm.

Dari bentuk pembebanan statik seperti pada Gambar 3-7, tegangan dominan yang terjadi adalah tegangan lentur meskipun tegangan geser juga terjadi walaupun tidak dominan. Nilai tegangan lentur akan bervariasi terhadap jarak dari titik pembebanan, jadi semakin jauh dengan titik pembebanan, tegangan lentur yang dihasilkan akan semakin besar. Nilai tegangan lentur juga dipengaruhi oleh nilai momen inersia. Semakin besar nilai momen inersia maka nilai tegangan lentur akan semakin kecil begitu sebaliknya. Di samping itu, tegangan lentur juga dipengaruhi oleh jarak dari sumbu netral, semakin jauh jarak terhadap sumbu netral maka tegangan lentur akan semakin besar. Menurut persamaan (2-1) maka nilai tegangan lentur maksimal berada pada area batas *beam* bagian terjauh dari sumbu netral. Selanjutnya dengan persamaan (2-2) didapatkan hasil tegangan Von Mises seperti Gambar 4-1 di atas.

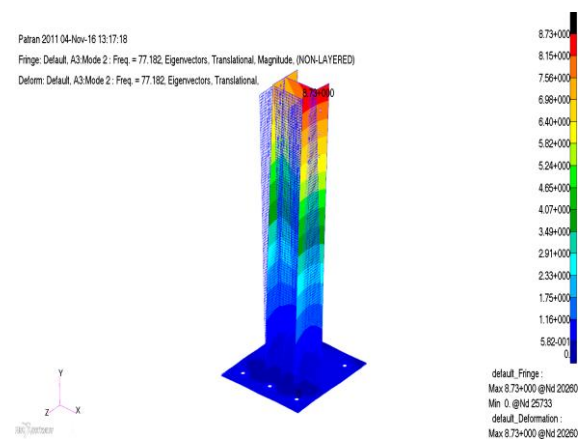
Dari data nilai tegangan Von Mises maksimal sebesar 14,1 MPa dan nilai tegangan luluh material ASTM A36 sebesar 370 MPa (interpolasi Tabel 2-2 pada temperatur 25°C) maka dapat dikatakan bahwa struktur AUGÉ sangat kuat dan tidak mengalami kegagalan akibat pembebanan statik dengan nilai *safety factor* sebesar 26,24.

Selain pembebanan statik, nilai frekuensi pribadi juga disimulasikan pada struktur AUGÉ. Berikut adalah lima nilai frekuensi pribadi pertama dari struktur AUGÉ.



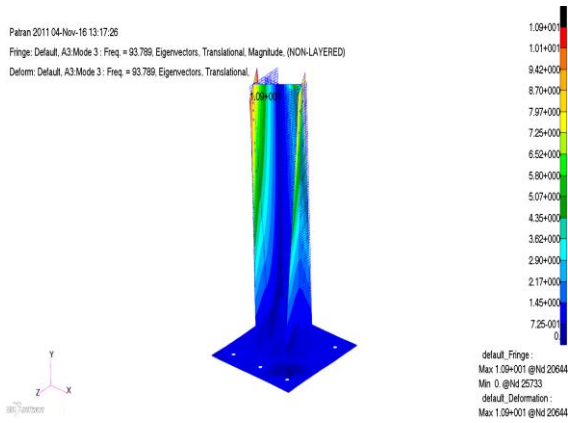
Gambar 4-2: Modus 1 struktur AUGÉ

Gambar 4-2 adalah modus 1 dari struktur AUGÉ. Modus 1 ini terjadi pada nilai 61,94 Hz pada tiang utama dengan kecenderungan bergetar ke arah sumbu x.



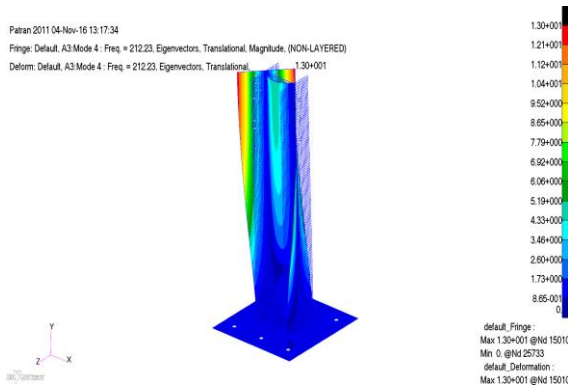
Gambar 4-3: Modus 2 struktur AUGÉ

Gambar 4-3 adalah modus 2 dari struktur AUGÉ. Modus 2 yang terjadi pada nilai 77,18 Hz dengan kecenderungan bergetar ke arah sumbu z.



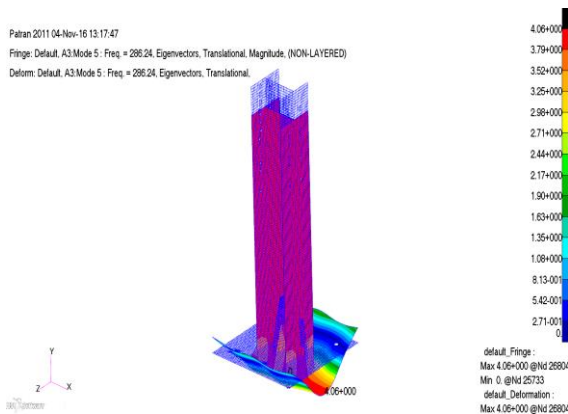
Gambar 4-4: Modus 3 struktur AUGE

Gambar 4-4 adalah gambar modus 3 dari struktur AUGE. Modus 3 ini terjadi pada nilai 93,79 Hz dengan kecenderungan getaran berbentuk puntiran pada sumbu y.



Gambar 4-5: Modus 4 struktur AUGE

Gambar 4-5 adalah gambar modus 4 dari struktur AUGE. Modus 4 ini terjadi pada nilai 212,23 Hz dengan kecenderungan getaran terjadi pada tiang utama yang berbentuk tekukan simetris pada bidang YZ.



Gambar 4-6: Modus 5 struktur AUGE

Berbeda dengan empat modus pertama di atas, modus 5 ini terjadi pada dudukan tiang utama struktur AUGE. Modus 5 tersebut terjadi pada nilai 286,24 Hz dengan kecenderungan getaran berbentuk tekukan simetris pada bidang YZ.

5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan terhadap struktur AUGE dengan menggunakan *software* metode elemen hingga, maka dapat disimpulkan bahwa struktur AUGE sangat kuat dan tidak mengalami kegagalan ketika digunakan untuk pengujian *engine* LSU-05 dengan nilai *safety factor* sebesar 26,24. Di samping itu, lima nilai pertama frekuensi pribadi dari struktur AUGE tersebut adalah 61,94 Hz, 77,18 Hz, 93,79 Hz, 212,23 Hz dan 286,24 Hz.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini tidak lupa penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Drs. Gunawan S. Prabowo, MT selaku Kepala Pusat Teknologi Penerbangan dan kepada Bapak Ir. Atik Bintoro, MT yang telah banyak memberikan masukan kepada penulis.

DAFTAR RUJUKAN

- Abdurohman, K., Sakti, R. B. & Silitonga, P. W., 2015. *Normal Mode Analysis of N219 Wing for B-11 Configuration*. Indonesia Book Project.
- Brezina, A. J. & Thomas, S. K., 2012. *Measurement of Static and Dynamic Performance*, Ohio.
- Desert Aircraft. [https:// www.desertaircraft.com/products/da-170](https://www.desertaircraft.com/products/da-170). Diakses 20 Oktober 2016.
- Hibbeler, R., 2011. *Mechanics of Materials*. Pearson Prentice Hall.
- Hidayat, D., Nugroho, A. & Wirawan, N., 2015. *Optimasi Berat Struktur Tail Boom LSU-05 Akibat Tegangan Lentur dari Aspek Bentuk Penampang Geometri*. Jakarta, Indonesia Book Project.

- Kuntjoro, W., 2011. *An Intorduction to The Finite Element Method*. McGraw-Hill.
- Mujtahid, 2015. *Pemilihan Jenis Peredam (Damper) Pada Mounting Engine Pesawat LSU-03 Untuk Meredam Getaran Yang Terjadi*. Jakarta, Indonesia Book Project.
- Musa, U., Afolayan, M. & Dagwa, I., 2016. *Finite Element Model for Predicting Residual Stressues in Shielded*. Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH).
- Nastran, N., 2008. *Basic Dynamic Analysis, User's Guide*.
- Nguyen, T. D., 2010. *Finite Element Analysis of a Nose Gear During Landing*, University of North Florida.
- Purnomo, H. & Satrijo, D., 2011. *Desain dan Analisa Impact pada Struktur Bumper Belakang Kendaraan SUV Dengan Metode Elemen Hingga*. Jurnal Teknik Mesin Rotasi.
- Satrijo, D., Suprihanto, A. & Kholil, A., 2005. *Simulasi dan Analisa Modus Getar Pada Mesin Freis Type Vertical Milling dengan Menggunakan Program Bantu MSC Nastran*. Jurnal Teknik Mesin Rotasi.
- Soemaryanto, A. R., Anggraeni, D., Rahmadi, A. & Sumarna, E., 2014. *Engine and Propeller Selection for Propulsion System LAPAN Surveillance UAV – 05 (LSU-05) using Static Thrust Calculation and Test*.
- Wandono, F. A., 2015. *Pengaturan Ulang Arah Serat Spar Depan LAPAN Surveillance UAV-05 Menggunakan Finite Element Method*. Jakarta, Indonesia Book Project.