

PEMILIHAN JENIS PEREDAM (DAMPER) PADA MOUNTING ENGINE PESAWAT LSU-03 UNTUK MEREDAM GETARAN YANG TERJADI

Mujtahid
Pusat Teknologi Penerbangan, LAPAN
Pos El : mjthd@yahoo.com

Abstrak

Getaran yang terjadi pada pesawat Unmanned Aerial Vehicle (UAV) LSU-03 khususnya pada saat terbang cukup tinggi dilihat dari perhitungan amplitudo dan frekuensi yang terjadi. Asal sumber getar yang terjadi pada pesawat cukup banyak terutama dari engine yang bekerja. Getaran yang terjadi bisa berakibat fatal pada struktur pesawat maupun instrumentasi pesawat. Struktur pesawat bisa rusak sedangkan instrumentasi yang terganggu bisa mengakibatkan pesawat tidak terkontrol sesuai rencana dan jatuh. Pemasangan peredam (damper) pada mounting engine pesawat LSU-03 harus mempertimbangkan banyak hal, terutama jumlah dan posisinya karena ruang (space) yang tersedia untuk pemasangan yang relatif sempit. Makalah ini berisi perhitungan dari beberapa jenis peredam yang bisa dipasang pada mounting engine pesawat LSU-03 untuk meredam getaran yang terjadi sehingga bisa dipilih jenis dan jumlah peredam yang akan dipasang sesuai dengan kebutuhan. Dari hasil perhitungan yang dilakukan diketahui bahwa jika dipilih damper jenis CR2-400 bisa dipasang 3 atau 4 buah damper, sedangkan jika dipilih damper jenis CR1-100 harus dipasang 5 atau 6 buah.

Kata kunci : LSU, peredam

Abstract

Vibrations that occur in UAV aircraft, particularly LSU-03. While flying high enough, it can be seen from the calculation of amplitude and frequency, the highest vibration that occurs is derived from the current machine. Vibrations that occur can be fatal in aircraft structures and flight instrumentation. Aircraft structures can be damaged while if instrumentation distracted can result in uncontrolled air as planned to fly and fall. Installation of a damper on the engine mounting must consider many things, especially the number and position because the available space is relatively narrow. This paper shows the calculation of some types of dampers which can be mounted on aircraft engine mounting LSU03 to dampen vibrations that occur, so it can be chosen the type and amount of damping that will be installed as needed. From the results of calculations made known that if chosen damper type CR-2400 can be installed 3 or 4 pieces damper, whereas if chosen damper types of CR-1100 must be mounted 5 or 6 pieces

Keywords : LSU, damper

1. PENDAHULUAN

Pesawat *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) LSU-03 adalah salah satu jenis pesawat UAV hasil litbangyasa Pusat Teknologi Penerbangan LAPAN. Pesawat LSU-03 dirancang mampu terbang menempuh jarak jelajah total 300 km, terbang selama 3 jam dengan kemampuan membawa *payload* 10 kg. Telah dilakukan beberapa kali uji terbang menempuh jarak jauh maupun jarak pendek. Uji terbang jarak pendek sukses dilakukan beberapa kali di Balai Produksi dan Pengujian Roket Pameungpeuk, Garut dengan berputar-putar di sekeliling landasan. Namun uji terbang jarak jauh pada bulan Nopember 2014 yang direncanakan sejauh 300 km mengalami kegagalan, pesawat jatuh ditengah perjalanan.

Hasil analisis kegagalan yang telah dilakukan masih menemukan banyak hal yang kemungkinan menjadi penyebab, dari *casing engine* yang retak, bahan bakar yang tidak mengalir lancar ke engine akibat manuver pesawat, masalah elektronika dan instrumentasi yang terganggu dan lain sebagainya. Makalah ini membahas masalah kegagalan uji terbang pesawat LSU-03 dari sisi terganggunya sistem elektronika dan instrumentasi akibat getaran yang terjadi pada pesawat dengan penyebab utama dari getaran engine pesawat. Selanjutnya dilakukan upaya penelitian untuk meredam tingkat getaran yang terjadi pada pesawat dengan melakukan perhitungan dan pemilihan jenis peredam yang cocok digunakan untuk mengatasi masalah getaran yang terjadi pada engine pesawat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memilih jenis dan jumlah peredam yang akan dipasang pada *mounting engine* pesawat agar getaran yang terjadi bisa diminimalisir dan tidak mengganggu sistem elektronika dan instrumentasi yang bekerja. Pemilihan jumlah dan jenis damper harus memperhatikan keterbatasan ruang pemasangan antara engine dan *fuselage* yang tersedia.



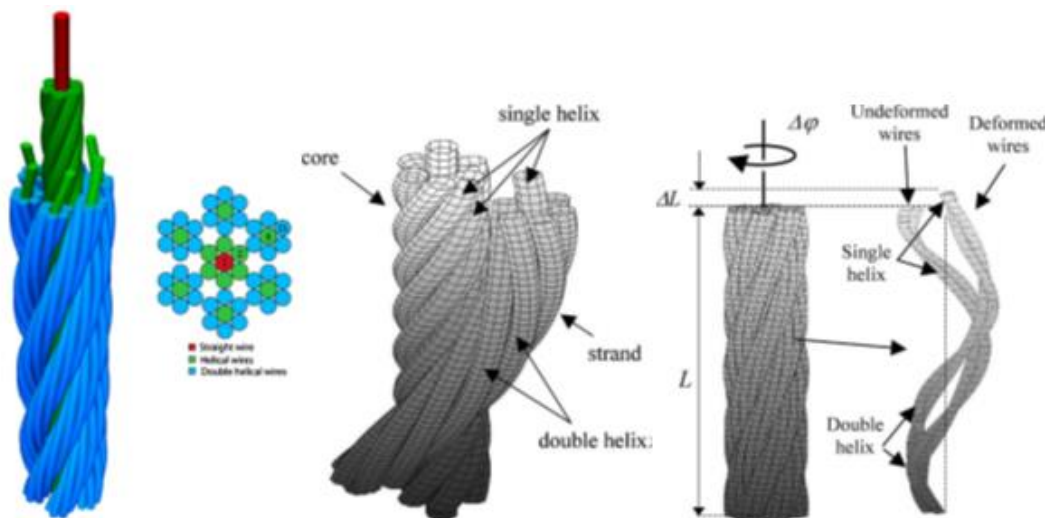
Gambar 1-1 Pesawat LSU-03

2. DASAR TEORI

Sumber getar yang menimpa pesawat banyak penyebabnya baik dari dalam ataupun dari luar bahkan seringkali adalah kombinasi (kopel) dari banyak hal. Sumber getar dari dalam misalnya adalah dari putaran engine yang bekerja, sedangkan sumber getar dari luar misalnya tiupan angin ataupun aliran fluida udara yang kadangkala mengalami turbulensi. Sumber getar tersebut akan berinteraksi dengan kondisi pesawat sendiri seperti masa dan kekakuan pesawat, frekuensi natural pesawat bahkan kecepatan terbang pesawat akan menciptakan kombinasi yang unik untuk timbulnya masalah getaran yang kompleks pada pesawat.

Damper *wire rope isolator* telah terbukti sangat efektif untuk meredam getaran maupun gaya kejut (*shock*) dan telah banyak diaplikasikan pada teknologi ruang angkasa dan militer. Aplikasi pada pesawat ulang alik misalnya adalah untuk melindungi peralatan yang pada motor roket cair, sistem pemipaan bahkan pada teleskop Hubble [1].

Kebanyakan damper *wire rope* terbuat dari jalinan kawat tunggal (*single helix*) atau dari beberapa jalinan kawat yang disatukan (*double helix*) [2]. *Wire rope* keseluruhan terdiri dari 3 lapisan untaian kawat (*wire strand*). Untaian kawat inti (*straight wire*) dikelilingi oleh 6 untaian kawat yang masing-masing terdiri dari 7 helai kawat, kesemua inilah yang disebut *core wire*. Lapisan ketiga (terluar) terdiri dari untaian kawat yang lebih banyak [3]. Sudut putar untaian kawat lapisan ketiga menentukan koefisien kekakuan *wire rope* yang terjadi [4]



Gambar 2-1 Konstruksi *wire rope* yang mengalami displasemen aksial dan rotasional [5]

Teori sederhana tentang *wire rope* menyatakan bahwa *wire rope* hanya mengalami tegangan tarik tekan dan torsi mengingkat bahwa kawat (*wire*) hanya mengalami gaya tarik murni dengan mengabaikan kondisi pemegangan dan tegangan kontak yang terjadi [6]. Bisa diasumsikan bahwa efek gesekan antar kawat (*wire*) pada sebuah untaian cukup kecil sehingga bisa diabaikan [7]. Kekakuan

efektif damper akan menurun seiring dengan meningkatnya amplitudo getaran hingga mencapai nilai minimum [8]. Gaya normal dan perubahan sudut antara jalinan kawat (*wire*) diperoleh dari perhitungan teoritis ketika massa (*m*) mengenai *wire rope* dengan kecepatan (*v*) tertentu. Dengan asumsi bahwa *x* adalah deformasi akibat kompresi dan *F* adalah beban aksial yang bekerja pada *wire rope* [9] maka :

$$\frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} kx^2 \dots\dots\dots (1)$$

$$F = kx \dots\dots\dots (2)$$

sehingga :

$$F = v\sqrt{mk} \dots\dots\dots (3)$$

dengan :

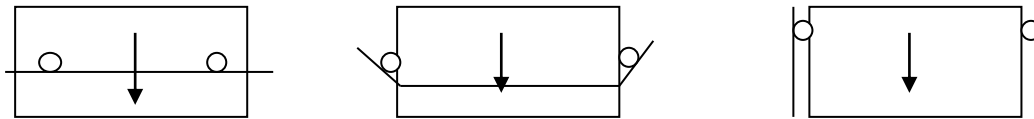
m = massa beban

k = kekakuan pegas

Damper dipasang pada mounting engine pesawat LSU-03. Berdasarkan posisi pemasangan dan arah sumbu beban yang bekerja pada damper ada 3 jenis type, yaitu :

- a. Tegak lurus *mounting* damper (*compression*) atau kompresi
- b. Miring (*45° compression/roll*)
- c. Searah *mounting* (*fixed roll/shear*) atau geser

Lebih jelasnya posisi pemasangan dan arah sumbu beban seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 2-2 Arah sumbu beban berdasarkan posisi pemasangan damper pada *mounting engine*

Pada makalah ini arah pembebanan diasumsikan tegak lurus *mounting damper* (*compression*) atau beban kompresi. Walaupun pada kenyataannya arah pembebanan bisa berubah-ubah sesuai dengan manuver pesawat namun mayoritas arah pembebanan yang diterima damper adalah tegak lurus *mounting damper*.

Pemilihan damper produk Enidine dipertimbangkan karena sudah terbukti dengan pemakaiannya yang cukup luas di teknologi penerbangan (*aviasi*). *Wire rope* terbuat dari stainless steel seri SS 304, sedangkan mountingnya terbuat dari aluminium alloy seri AA 6061-T6 [10]. Gambar *compact wire rope isolator* atau populer dengan damper Enidine bisa dilihat pada Gambar 2-3.



Gambar 2-3 Damper Enidine Jenis CR Berbagai Ukuran

3. METODOLOGI

Metodologi pemilihan damper dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :

- a) Ditimbang berat engine untuk menghitung beban yang harus ditanggung masing-masing damper (*W*).

- b) Dihitung frekuensi natural yang terjadi akibat putaran engine (f_n).
- c) Dihitung kekakuan damper maksimum (K_v).
- d) Ditetapkan arah sumbu beban terhadap posisi damper : tegak lurus, miring ataukah geser.
- e) Setelah menghitung beban per damper (W) dan kekakuan damper maksimum (K_v) selanjutnya kedua parameter tersebut dibandingkan dengan beban statik maksimum yang bisa ditanggung damper dan kekakuan damper sesungguhnya dan harus memenuhi syarat bahwa :
 - i. W perhitungan < beban statik maksimum damper ($W_{\text{perhitungan}} < W_{\text{max}}$)
 - ii. Kekakuan damper < kekakuan maksimum hasil perhitungan ($K_v < K_{v \text{ perhitungan}}$)

Beban statik maksimum damper dan kekakuan damper berbagai macam jenis damper bisa dilihat pada Tabel 4-2 yang telah dikeluarkan oleh pihak pembuat damper Enidine.

4. HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Pertama kali dilakukan perhitungan beban yang harus dipikul oleh damper, beban ini terutama disebabkan karena berat engine LSU-03. Perhitungan berikutnya mengikuti langkah-langkah pemilihan wire rope damper [10] :

Berat engine LSU-03 adalah 1,4 kg sehingga beban yang harus ditanggung oleh damper adalah sebesar :

$$W_T = W \times g \dots\dots\dots (4)$$

dengan : $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

maka

$$W_T = 1,4 \times 9,81 \\ = 13,73 \text{ N}$$

Jika misalnya dipasang 3 buah (n) damper wire rope isolator maka beban statik yang akan ditanggung masing-masing damper adalah :

$$W = \frac{W_T}{n} \dots\dots\dots (5) \\ = \frac{13,73}{3} \\ = 4,58 \text{ N}$$

Pada kasus ini sumbu beban diasumsikan tegak lurus pada damper sehingga merupakan beban kompresi (compression load).

Engine pesawat LSU-03 bekerja dengan putaran maksimum 8000 rpm akan tetapi pada saat terbang cruise throttle dibuka sebesar 80% sehingga menghasilkan putaran sebesar 6400 rpm yang akan menghasilkan frekuensi eksitasi sebesar :

$$f_i = \frac{\text{rpm}}{60} \dots\dots\dots (6)$$

dengan :

rpm = putaran engine

sehingga :

$$f_i = \frac{6400}{60} \\ = 106,67 \text{ Hz}$$

Respon sistem terhadap frekuensi natural yang terjadi akibat putaran dengan peredaman sebesar 80% adalah :

$$f_n = \frac{f_i}{3} \dots\dots\dots (7) \\ = \frac{106,67}{3} \\ = 35,56 \text{ Hz}$$

Kekakuan damper maksimum

$$K_v = \frac{W(2\pi f_n)^2}{g} \dots\dots\dots (8)$$

dengan :

W = beban per damper
 V = kecepatan shock
 g = percepatan gravitasi = 9,81 m/s²

sehingga :

$$K_v = \frac{4,58 \times (2 \times 3,14 \times 35,56)^2}{9,81}$$

$$= 23.267,03 \text{ N/m}$$

Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan beban yang ditanggung per damper jika dipasang 4 buah damper adalah sebesar :

$$W = \frac{W_T}{n}$$

$$= \frac{13,73}{4}$$

$$= 3,43 \text{ N}$$

dan kekakuan damper maksimum yang terjadi sebesar :

$$K_v = \frac{W(2\pi f_n)^2}{g}$$

$$= 17.450,27 \text{ N/m}$$

Jika dipasang 5 damper akan diperoleh hasil perhitungan beban $W = 2,75 \text{ N}$ dan kekakuan maksimum damper $K_v = 13.960,22$ demikian pula jika dipasang 6 damper akan menghasilkan perhitungan beban $W = 2,29 \text{ N}$ dan kekakuan maksimum damper $K_v = 11.633,52$.

Hasil perhitungan bisa dilihat lebih jelas pada tabel berikut :

Tabel 4-1 Hasil Perhitungan W dan K_v

No.	Jumlah damper (n)	Beban per damper (W)	Kekakuan damper maksimum (K _v)
1.	3	4,58 N	23.267,03 N/m
2.	4	3,43 N	17.450,27 N/m
3.	5	2,75 N	13.960,22 N/m
4.	6	2,29 N	11.633,52 N/m

Setelah menghitung beban per damper (W) dan kekakuan damper maksimum (K_v) selanjutnya kedua parameter tersebut dibandingkan dengan beban statik maksimum yang bisa ditanggung damper dan kekakuan damper sesungguhnya dan harus memenuhi syarat bahwa :

1. W perhitungan < beban statik maksimum damper ($W_{\text{perhitungan}} < W_{\text{max}}$)
2. Kekakuan damper < kekakuan maksimum hasil perhitungan ($K_v < K_{v \text{ perhitungan}}$)

Beban statik maksimum damper dan kekakuan damper berbagai macam jenis damper bisa dilihat pada tabel yang telah dikeluarkan oleh pihak pembuat damper Enidine sebagai berikut :

Tabel 4-2 Maximum Static Load dan Kekakuan Damper (K_v) Untuk Beberapa Jenis Damper

No.	Type damper	Max. Static Load (N)	K _v (N/m)
1.	CR2-100	12	11000
2.	CR2-200	9,3	8800
3.	CR2-300	6,7	5300
4.	CR2-400	4,9	3500
5.	CR1-100	3,3	3900
6.	CR1-200	2,4	2800
7.	CR1-300	1,8	1750
8.	CR1-400	1,3	1310

Dengan memperhatikan syarat pemilihan damper diatas maka untuk pemasangan 3, 4, 5 atau 6 buah damper bisa dipilih jenis damper yang memenuhi kedua syarat diatas seperti terangkum pada Tabel 4-3.

Tabel 4-3 Pemilihan Jumlah dan Jenis Damper

Jumlah damper	Syarat beban : $W_{\text{perhitungan}} < W_{\text{max}}$	Syarat kekakuan : $K_v < K_{v \text{ perhitungan}}$	Status persyaratan	Damper yang dipilih :
3	4,58 N < 4,9 N	3.500 N/m < 23.267,03 N/m	OK	CR2-400
4	3,43 N < 4,9 N	3.500 N/m < 17.450,27 N/m	OK	CR2-400
5	2,75 N < 3,3 N	3.900 N/m < 13.960,22 N/m	OK	CR1-100
6	2,29 N < 3,3 N	3.900 N/m < 11.633,52 N/m	OK	CR1-100

Dari Tabel 4-3 tentang pemilihan jumlah dan jenis damper diatas bisa dijelaskan bahwa untuk pemasangan 3 buah damper bisa dipilih jenis CR2-400. Damper CR2-400 berukuran tinggi 27 mm dan panjang/lebar 27 mm. Bila ruang pemasangan yang tersedia masih cukup, pemasangan 4 buah damper CR2-400 akan lebih baik karena pemasangan yang simetris membuat beban akan terbagi dengan lebih stabil dan lebih aman karena beban yang disangga masing-masing damper akan menjadi semakin kecil. Demikian pula bila ruang pemasangan yang tersedia memungkinkan maka pemasangan lebih banyak damper (5 atau 6 buah) bisa dipertimbangkan karena damper CR1-100 yang dipilih bentuknya lebih kecil daripada jika memakai jumlah damper yang lebih sedikit. Damper CR1-100 berukuran tinggi 17 mm dan panjang/lebar 19 mm.

Seperti dijelaskan pada Dasar Teori diatas, damper yang dipasang pada mounting engine pesawat LSU-03 berdasarkan posisi pemasangan dan arah sumbu beban yang bekerja pada damper ada 3 jenis type yaitu tegak lurus, miring atau searah mounting (geser). Pada kenyataannya arah pembebanan bisa berubah-ubah sesuai dengan manuver pesawat namun mayoritas arah pembebanan yang diterima damper adalah tegak lurus mounting damper (pesawat *cruise*). Damper menahan beban pada posisi arah sumbu beban miring hanya terjadi pada saat pesawat *take-off* dan *landing*. Posisi seperti ini hanya dialami damper dalam waktu yang relatif singkat sehingga bisa diabaikan. Dengan pertimbangan tersebut maka pada makalah ini arah pembebanan diasumsikan tegak lurus mounting damper (*compression*) atau beban kompresi.

Dari hasil perhitungan diatas menunjukkan bahwa berat engine LSU-03 masih relatif ringan sehingga untuk menahan beban yang ditimbulkan masih cukup ditopang oleh damper CR seri 1 (CR1) dan CR seri 2 (CR2). Untuk beban yang lebih besar lagi bisa dipilih damper CR seri yang lebih tinggi lagi sampai dengan CR seri 6 (CR6). Bahkan untuk beban yang jauh lebih besar bisa dipertimbangkan untuk memilih damper seri HR dan seri WR. Namun pemilihan damper seri HR dan seri WR hanya bisa dilakukan jika tersedia ruang yang cukup luas untuk pemasangannya karena kedua seri ini bentuknya cukup besar dan memanjang dengan join yang lebih banyak.

Banyak sekali jenis damper yang beredar luas di pasaran, namun damper Enidine yang sudah terbukti dengan pemakaian yang cukup luas di teknologi penerbangan (aviasi) sudah cukup untuk menjawab tantangan masalah getaran pada pesawat LSU-03 ini.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini bisa diambil kesimpulan :

- Pilihan damper jenis CR2-400 memerlukan pemasangan sebanyak 3 atau 4 buah damper, sedangkan pilihan damper jenis CR1-100 memerlukan pemasangan 5 atau 6 buah damper.
- Pemilihan jumlah dan jenis damper yang dipakai terutama mempertimbangkan ruang yang tersedia dan kemudahan pemasangan mengingat terbatasnya ruang tempat pemasangan. Pemilihan damper jenis CR2-400 memerlukan jumlah yang lebih sedikit dibandingkan bila dipilih damper jenis CR1-100 tetapi damper jenis CR2-400 (tinggi 27 mm, panjang/lebar 27 mm) berukuran lebih besar daripada jenis CR1-100 (tinggi 17 mm, panjang/lebar 19 mm).

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Bapak Gunawan Setyo Prabowo dan Agus Nurtjahyo Mulyo yang telah memfasilitasi penelitian ini dan juga teman-teman yang lain khususnya dari Bidang Aerostruktur dan Propulsi yang telah banyak memberi tambahan informasi.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Tinker M.L., Cutchins M.A., *Damping Phenomena in a Wire Rope Vibration Isolation System*, Journal of Sound and Vibration, Vol.157 No.1, p.7-18, 1992, NASA/Marshall Space Flight Center, Huntsville, Auburn University Alabama , U.S.A.

- 2) Elata D., Eshkenazy R., Weiss M.P., *The mechanical behavior of wire rope with an independent wire rope core*, International Journal of Solids and Structures, Vol.41, p.1157-1172, 2004, Israel Institute of Technology, Haifa, Israel
- 3) Velinsky S.A., *General nonlinear theory for complex wire rope*, International Journal Mechanical Science, Vol.27, No.7-8, p.497-507, 1985, The University of Wisconsin-Madison, USA
- 4) Ghoreishia S.R., Messagera T., Cartrauda P., Davies P., *Validity and limitations of linear analytical models for steel wire strands under axial loading using a 3D FE model*, International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 49, p.1251–1261, 2007, Institut de recherche en Ge'nie civil et Me'canique (Ge'M), Ecole Centrale de Nantes, France
- 5) Usabiaga H., Pagalday J.M., *Analytical procedure for modelling recursively and wire by wire stranded ropes subjected to traction and torsion loads*, International Journal of Solids and Structures, Vol. 45, p.5503-5520, Gipuzkoa, Spain
- 6) Nawrocki A., Labrosse M., *A finite element model for simple straight wire rope strands*, Journal Computers and Structures, Vol.77, 2000, p.345-359, The University of Akron, Akron, , USA
- 7) Utting W.S., Jones N., *The response of wire rope strands to axial tensile loads*, International Journal Mechanical Science, Vol.29, No.9, p.605-619, 1987, The University of Liverpool, UK
- 8) Gerges R.R., Vickery B.J., *Design of tuned mass dampers incorporating wire rope springs*, Journal Engineering Structures, Vol.27,p.653–661, 2005, The University of Western Ontario, Canada
- 9) Wang S., Li X., Lei S., Zhou J., Yang Y., *Research on torsional fretting wear behaviors and damage mechanisms of stranded-wire helical spring*, Journal of Mechanical Science of Technology, Vol.25, No.8, p.2137-2147, 2011, Chongqing University, China.
- 10) Enidine, *Wire Rope Isolator Technologies*, New York, 2012, www.enidine.com