

Perancangan Fixture Uji Vibrasi pada Muatan Sistem Telemetri yang Berbentuk Tabung

Vibration Test Fixtures Design for Payload of Tubular Telemetry System

Muksin^{*}), Mikhael Gilang Pribadi P. Pratama, Yudha Agung Nugroho,

Yusuf Giri Wijaya, Nur Mufidatul Ula, Adi Wirawan

Pusat Teknologi Penerbangan, LAPAN, Jakarta, Indonesia

*E-mail: muksin.muksin@lapan.go.id

ABSTRACT

Vibration testing on telemetry system payload is needed to determine its resistance to vibration during operation. Vibration testing of telemetry system payloads requires a test *fixture*. Test *fixture* is used to transmit vibration from shaker to telemetry system payload. The payload of telemetry system to be tested is a tubular. The test *fixture* in this study was designed using SolidWorks software. The material used for manufacture of test *fixture* is aluminum. Aluminum material was chosen because it has good rigidity with a relatively light mass. Stiffness and mass properties affect to natural frequency value of test *fixture*, which must be greater than the frequency range of operating telemetry system. Data collection uses two accelerometers placed on test *fixture*. Sine sweep vibrations are given from 5 Hz to 2000 Hz with a constant amplitude of 1 g and a sweep rate of 1 octave/minute. The test produces three peaks that they are candidates as natural frequencies, i.e at a frequency of 1532 Hz with an amplitude of 2.898 g, a frequency of 1706 Hz with an amplitude of 6.582 g, and at a frequency of 1806 Hz with an amplitude of 6.472 g. From those three natural frequencies, the second natural frequency at 1706 Hz is the most critically because it has the largest response value.

Keywords: vibration, telemetry system, test *Fixture*, natural frequency, aluminum.

PENDAHULUAN

Fixture adalah sebuah alat yang didesain secara spesifik dan digunakan untuk meletakkan dan menyangga benda kerja dalam proses produksi (Prasetyo *et al.*, 2016). Tujuan utama penggunaan *fixture* adalah untuk membantu proses produksi dengan cara menahan benda kerja agar tetap pada posisi yang diinginkan (Okpala & Okechukwu, 2015). Benda kerja dapat disebut dengan benda uji karena *fixture* pada penelitian ini digunakan untuk membantu proses pengujian vibrasi.

Pada penelitian ini, *fixture* berfungsi sebagai penyalur getaran dari *shaker* ke benda uji. *Fixture* uji getaran harus dapat mensimulasikan pemasangan sebenarnya dari benda uji (Luo *et al.*, 2018). Benda uji adalah suatu benda yang akan diuji sesuai dengan tujuan pengujian. Benda yang akan diuji adalah muatan sistem telemetri yang berbentuk tabung. Oleh karena itu, *fixture* uji getaran yang dibuat harus disesuaikan dengan bentuk tabung.

Dalam pembuatan *fixture* uji vibrasi ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu *transmissibility* dan frekuensi natural (Mc Connell & Varoto, 2008; De Barros & Souto, 2017). *Fixture* uji getaran harus memiliki

kekakuan tinggi dan mampu mentransfer energi getaran yang dihasilkan oleh *shaker* ke benda uji tanpa adanya perubahan. *Fixture* uji vibrasi yang ideal harus memiliki nilai *transmissibility* atau perbandingan antara keluaran dengan masukan sebesar satu (Reddy & Reddy, 2010). Nilai *transmissibility* satu berarti nilai output dengan tepat mengikuti input.

Fixture uji getaran yang bagus harus mempunyai nilai frekuensi natural tidak pada rentang frekuensi pengujian (Borhade *et al.*, 2015). Jika *fixture* uji memiliki nilai frekuensi pada rentang jalur pengujian maka akan terjadi resonansi yang menyebabkan ketidakakuratan dalam pengujian. Resonansi juga akan menyebabkan getaran dengan amplitudo tinggi sehingga dapat merusak benda uji dan peralatan uji.

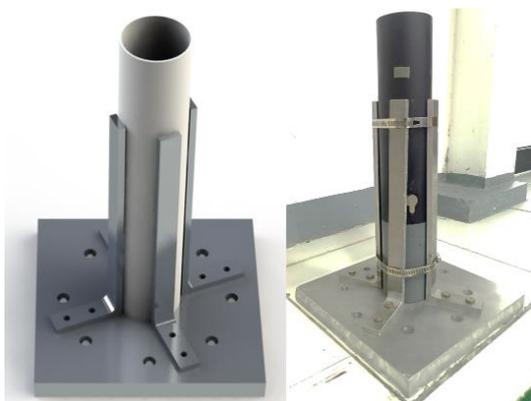
Fixture uji vibrasi yang sudah diproduksi harus diuji secara eksperimental. Fungsi dari uji eksperimental ini adalah untuk mengetahui karakteristik dinamis. Karakteristik dinamis yang wajib diketahui, salah satunya adalah frekuensi natural. Penelitian ini bertujuan untuk merancang *fixture* uji vibrasi yang dapat digunakan untuk pengujian vibrasi pada muatan sistem telemetri dan mengujinya secara eksperimental untuk mengetahui karakteristik

dinamisnya. Dengan diketahuinya karakteristik dinamis, terutama nilai frekuensi natural dari *fixture* uji tersebut maka dapat diketahui rentang frekuensi pengujian yang dapat menggunakan *fixture* tersebut.

METODE

Perancangan *fixture* uji vibrasi

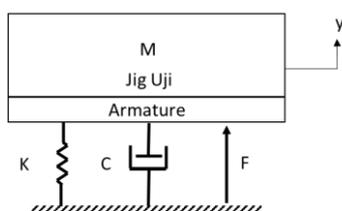
Tahap pertama dalam penelitian ini adalah perancangan *fixture* uji vibrasi. Beberapa contoh model *fixture* uji vibrasi adalah seperti model T, model L, model kubus, dan model yang disesuaikan dengan benda ujinya (Raut *et al.*, 2017). Rancangan *fixture* uji terdiri dari *base plate*, *clamping* dan tabung PVC. *Base plate* berfungsi sebagai penopang utama *fixture*. *Base plate* terbuat dari plat aluminium. *Clamping* terbuat juga dari aluminium. *Clamping* ini berfungsi untuk mencengkam benda uji (Fyona *et al.*, 2019). *Clamping* dipasang pada *base plate* dengan cara dibaut. Tabung PVC berguna sebagai tempat dipasangnya muatan sistem telemetri. Rancangan *fixture* uji vibrasi digambar menggunakan software Solidworks (Gambar 1).



Gambar 1. Desain *fixture* uji (kiri) dan *fixture* uji (kanan)

Pengujian pada *fixture* uji vibrasi

Pengujian vibrasi dalam laboratorium menggunakan sebuah *shaker* dapat dianggap sebagai sebuah sistem gerak dengan satu derajat kebebasan. Sistem terdiri dari massa, pegas, peredam, dan gaya eksitasi (Gambar 2).



Gambar 2. Sistem gerak dengan satu derajat kebebasan (Ula *et al.*, 2020)

Sebuah sistem gerak dengan satu derajat kebebasan yang memiliki massa M , koefisien redam

C , dan kekakuan K dapat dideskripsikan secara matematis seperti pada persamaan 1.

$$M\ddot{y} + C\dot{y} + Ky = F(t) \quad (1)$$

Shaker memberi eksitasi dengan amplitudo F_A dan frekuensi Ω yang secara matematis dituliskan dalam bentuk persamaan 2. Substitusikan persamaan 2 ke persamaan 1 sehingga persamaan gerak berubah menjadi persamaan 3.

$$F(t) = F_A \sin \Omega t \quad (2)$$

$$M\ddot{y} + C\dot{y} + Ky = F_A \sin \Omega t \quad (3)$$

Persamaan differensial orde 2 pada persamaan 3 memiliki solusi tipe tebakan dengan dua konstanta seperti yang ditulis dalam persamaan 4. Substitusi persamaan 4 ke persamaan 3 sehingga nilai kedua konstanta dapat diperoleh dari persamaan 5 dan persamaan 6 dengan ω adalah frekuensi natural benda dan ζ adalah koefisien redaman.

$$y = B \sin \Omega t + C \cos \Omega t \quad (4)$$

$$B = \frac{(\omega^2 - \Omega^2)(F_A/M)}{(\omega^2 - \Omega^2)^2 + 4\omega^2\Omega^2\zeta^2} \quad (5)$$

$$C = \frac{-2\omega\Omega\zeta(F_A/M)}{(\omega^2 - \Omega^2)^2 + 4\omega^2\Omega^2\zeta^2} \quad (6)$$

Eksitasi oleh *shaker* menyebabkan *fixture* uji ikut bergetar sehingga menghasilkan respon getar. Respon getar $R(t)$ dari *fixture* uji dituliskan secara matematis dalam persamaan 7 dengan amplitudo respon getar R_A pada persamaan 8. Respon getar memiliki perbedaan fasa dengan sumber getaran karena adanya redaman. Perbedaan fasa atau biasa disebut pergeseran fasa ϕ dideskripsikan secara matematis pada persamaan 9.

$$R(t) = R_A \sin(\Omega t - \phi) \quad (7)$$

$$R_A = \frac{(F_A/k)}{\{[1 - (\Omega/\omega)^2]^2 + 4\zeta^2(\Omega/\omega)^2\}^{1/2}} \quad (8)$$

$$\tan \phi = \frac{2\zeta(\Omega/\omega)}{1 - (\Omega/\omega)^2} \quad (9)$$

Ketika pengujian dilakukan, *shaker* memberikan eksitasi secara terus-menerus hingga mencapai jumlah siklus atau frekuensi yang ditentukan. Ketika frekuensi eksitasi yang dihasilkan oleh *shaker* mulai mendekati frekuensi natural benda uji, maka amplitudo eksitasi yang dibaca oleh sensor akan menaikan hingga mencapai titik puncak pada frekuensi alami benda uji. Fenomena ini disebut dengan resonansi. Resonansi menyebabkan amplitudo respon menjadi lebih besar jika dibandingkan dengan amplitudo eksitasi. Faktor yang

mendeskripsikan pertambahan amplitudo adalah faktor magnifikasi G yang secara matematis dituliskan dalam persamaan 10.

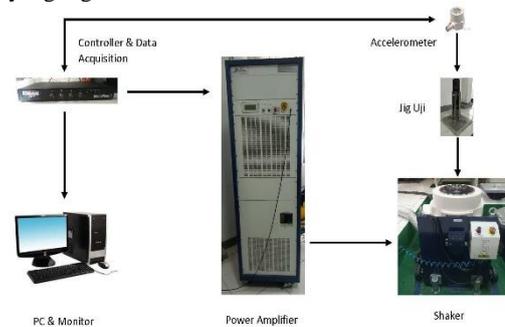
$$G = \frac{1}{\{[1 - (\Omega/\omega)^2]^2 + 4\zeta^2(\Omega/\omega)^2\}^{1/2}} \quad (10)$$

a. Peralatan yang digunakan

Peralatan pengujian yang digunakan dalam penelitian ini adalah,

1. satu unit *shaker* vibrasi merk ETS type M124M,
2. satu unit *amplifier power supply* merk ETS type MPA403,
3. tiga unit sensor *accelerometer* merk SENZ type IEPE SZ3055B2,
4. satu unit alat kontroler dan akuisisi empat saluran merk Medallion type VR9500,
5. satu set komputer desktop, dan
6. satu unit benda uji yang berupa *fixture* uji

Denah konfigurasi dan relasi antara peralatan yang digunakan diilustrasikan dalam Gambar 3.



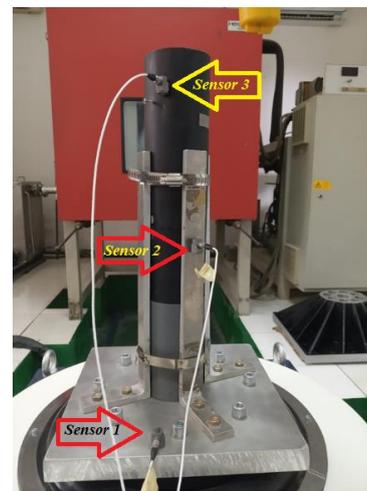
Gambar 3. Konfigurasi pengujian

Prosedur pengujian pada *fixture* uji

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen dengan cara memberikan eksitasi pada spesimen yang berupa *fixture* uji menggunakan *shaker* seperti yang sudah dilakukan dalam penelitian Ula, et al. (2020). Pengujian dilakukan untuk memperoleh data frekuensi alami dari *fixture* uji. Dalam metode eksperimen ini, *shaker* memberikan eksitasi dengan kenaikan bertahap terhadap *fixture* uji. Eksitasi tersebut menghasilkan respon dari *fixture* uji terhadap frekuensi eksitasi *shaker*. Respon tersebut ditangkap oleh sensor *accelerometer* dan diteruskan ke alat kontroler dan akuisisi kemudian diteruskan ke antarmuka di komputer.

Data yang diperoleh dari sensor disajikan dalam bentuk grafik respon. Grafik respon menunjukkan frekuensi dan respon yang berupa akselerasi. Seiring dengan berjalannya eksperimen, terdapat satu atau beberapa titik frekuensi yang memiliki puncak respon akselerasi yang jauh lebih tinggi dari respon pada frekuensi lainnya. Fenomena ini disebut dengan resonansi. Titik frekuensi tempat terjadinya fenomena resonansi adalah frekuensi alami yang dicari dalam penelitian ini.

Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan dengan cara memberikan eksitasi berupa getaran *sine sweep* dengan rentang frekuensi dari 5 Hz sampai 2000 Hz. Amplitudo eksitasi adalah 1 g dan laju peningkatan frekuensi sebesar 1 octave/menit. Sensor *accelerometer* yang digunakan merupakan produk dari SENZ dengan part number SZ3055B2 dan merupakan jenis sensor *accelerometer* IEPE satu arah/satu axis. Sensor *accelerometer* yang digunakan berjumlah 3 buah dengan 1 sensor sebagai kontrol dan 2 sensor untuk akuisisi data dengan posisi seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Konfigurasi posisi accelerometer

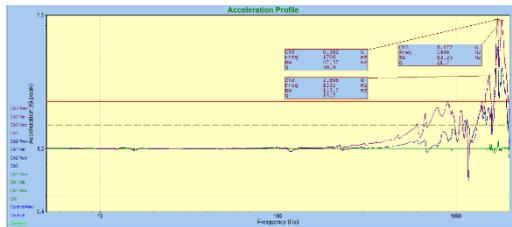
Ketiga sensor dipasang secara vertikal pada ketiga posisi atau searah dengan arah eksitasi *shaker*. Konfigurasi arah sensor disesuaikan dengan konfigurasi pengujian muatan sistem telemetri yang dilakukan menggunakan *fixture* uji dalam penelitian ini. Spesifikasi sensor *accelerometer* yang digunakan dalam pengujian ini tercantum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data sensitivitas sensor

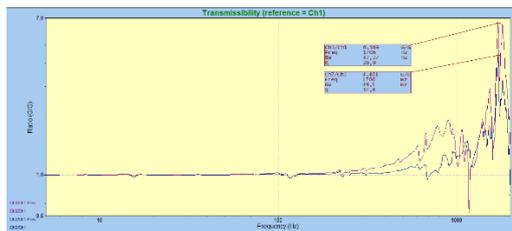
Kode Sensor	Lokasi	Sensivitas (mV/g)
Sensor 1	Bawah	98,39
Sensor 2	Tengah	97,67
Sensor 3	Atas	98,74

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengujian yang telah dilakukan terhadap *fixture* uji vibrasi sistem telemetri, diperoleh hasil berupa data percepatan pada domain frekuensi. Berdasarkan hasil yang diperoleh, terdapat tiga puncak respon yang merupakan kandidat frekuensi alami pada *fixture* uji tersebut. Frekuensi natural yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 5



Gambar 5. Grafik hasil pengujian *sine sweep* pada *fixture* uji vibrasi sistem telemetri



Gambar 6. Grafik *transmissibility* sensor 2 dan 3 terhadap sensor 1

Pada Gambar 5 terdapat grafik berwarna hijau untuk sensor 1, warna biru untuk sensor 2, dan warna ungu untuk sensor 3. Dalam grafik tersebut terlihat grafik berwarna ungu yaitu respon yang ditangkap oleh sensor akselerometer dari tabung PVC di lokasi penempatan benda uji berupa muatan sistem telemetri berbentuk tabung. Dari grafik tersebut terdapat puncak-puncak respon akselerasi pada frekuensi tertentu. Puncak yang memiliki nilai *transmissibility* lebih dari 2 dapat disebut sebagai nilai frekuensi natural. Pada grafik terdapat 3 puncak tertinggi yaitu puncak pertama pada frekuensi 1532 Hz dengan amplitudo sebesar 2,898 g, puncak kedua pada frekuensi 1706 Hz dengan amplitudo sebesar 6,582 g, dan puncak ketiga pada frekuensi 1806 Hz dengan amplitudo sebesar 6,472 g.

Pada Gambar 6 yang merupakan grafik *transmissibility* dari sensor 2 dan 3 terhadap sensor 1 juga memiliki puncak yang sama pada frekuensi 1706 Hz dengan nilai *transmissibility* yang berbeda. Nilai *transmissibility* sensor 2 terhadap sensor 1 sebesar 4,401 g/g, sedangkan nilai *transmissibility* dari sensor 3 terhadap sensor 1 sebesar 6,569 g/g. Nilai frekuensi natural dari *fixture* uji vibrasi sistem telemetri diperoleh dari puncak frekuensi yang memiliki nilai amplitudo tertinggi. Dari hasil data pengujian yang telah dilakukan, untuk pengujian vibrasi pada modul telemetri lebih ideal diletakkan di dekat sensor 2 karena memiliki nilai *transmissibility* yang lebih rendah dibandingkan jika diletakkan di dekat

sensor 3. Nilai *transmissibility* yang lebih rendah bagus untuk pengujian vibrasi karena daerah tersebut getarannya sama dengan getaran yang dihasilkan oleh shaker atau sumber getaran.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah berhasil dirancang *fixture* uji vibrasi untuk pengujian muatan sistem telemetri. *Fixture* uji vibrasi tersebut diuji secara eksperimental untuk menentukan frekuensi naturalnya. Pengujian yang dilakukan dengan cara memberikan getaran *sine sweep* dan diperoleh puncak-puncak frekuensi pada 1532 Hz, 1706 Hz, dan 1806 Hz. Nilai - nilai tersebut merupakan frekuensi natural pada *fixture* uji vibrasi. Puncak getaran tertinggi terjadi ada frekuensi 1706 Hz dengan tinggi amplitudo sebesar 6,582 g. Berdasarkan data pengujian maka dapat disimpulkan bahwa *fixture* uji yang telah dirancang aman untuk digunakan dalam proses pengujian vibrasi pada vibrasi muatan sistem telemetri dengan rentang frekuensi pengujian 5 - 1500 Hz.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Drs. Gunawan Setyo Prabowo, M.T. selaku Kepala Pusat Teknologi Penerbangan - LAPAN, Bapak Ir. Agus Aribowo, M.Eng selaku Kepala Bidang Program dan Fasilitas serta Bapak Drs. Agus Harno Nurdin Syah, M.Si yang telah memberikan bimbingan kepada kami dalam penulisan karya tulis ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Borhade, R. B., B. A. Parate & D. N. Korade, 2015. Structural Design Consideration and Performance Evaluation of Vibration Fixture for Power Cartridge Applications. *International Engineering Research Journal MECH PGCON 2016 (DY PATIL COE)*, 562-567.
- De Barros, E & C. D. A.Souto, 2017. Evaluation of a Vibration Text Fixture. *International Journal of Acoustics and Vibrations*, 22(3): 349-352.
- Fyona, A., R. Hakim & Afriandi. 2019. Desain Jig & Fixture untuk Break Shoes Sepeda Angin. *Jurnal Teknologi Dan Riset Terapan (JATRA)*, 1(2): 38-42.
- Luo, H., Yu, C., Wu, T & Wang, H. 2018. Structure Design and Dynamic Characteristic Analysis of Vibration Fixture. *Proceedings of 2018 IEEE International*

- Conference on Mechatronics and Automation, ICMA 2018*, 1515-1519.
- McConnell, K. G & P. S. Varoto. 2008. *Vibration Testing: Theory and Practice, 2nd Edition*. John Wiley & Sons.
- Okpala, C.C & E. Okechukwu C. 2015. The Design and Need for Jigs and Fixtures in Manufacturing. *Science Research*, **3**(4): 213-219.
- Prasetyo, H., R. Rispianda & H. Adanda, 2016. Rancangan *Jig* dan *Fixture* Pembuatan Produk Cover On-Off. *Teknoin - Jurnal Teknologi Industri*, **22**(5): 350-360.
- Raut, S. S., N. A. Madgulkar, S. A. Sathe, S. P. Wadkar & T. Sathe, 2017. Study of Vibration Fixtures. *International Journal of Current Engineering and Technology*, **7**(7): 75-77.
- Reddy, T. S & K. V. K. Reddy. 2010. Design and Analysis of Vibration Test Bed Fixtures for Space Launch Vehicles. *Indian Journal of Science and Technology*, **3**(5): 592-595.
- Ula, N. M., Y. G. Wijaya, M. Muksin, M. G. P. Pratama & A. H. N. Syah, 2020. Dynamical Characteristics of a Head Expander for Vibration Testing in Pustekbang Laboratory. *Angkasa: Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi*, **12**(2): 167-174.

