PENGUJIAN STRUKTUR BOM LATIH GUNA MENGETAHUI FREKUENSI PRIBADI DAN BEBAN DINAMIS

Erna Kusuma Wati^{1*}, Sri Wahyuni Sitorus²
Program Studi Teknik Fisika, Universitas Nasional^{1,2}
ernakusuma.w@gmail.com

Submitted August 13, 2021; Revised December 4, 2021; Accepted December 4, 2021

Abstrak

Untuk menjaga keamanan pilot dalam membawa pesawat pengangkut bom, maka diperlukan beberapa persyaratan uji struktur bagi seluruh komponen bom latihan. Pengujian struktur bom latihan meliputi : pengukuran frekuensi pribadi bom latihan dengan cara uji getar, pengujian dengan beban dinamis dan beban kejut serta uji statik pada struktur benda uji bom latihan. Pada penelitian ini akan melakukan semua pengujian tersebut. Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS-BPPT). Hasil pengujian menunjukkan bahwa struktur bom latihan¹ mempunyai frekuensi pribadi di atas 33 Hz. Struktur bom latihan mempunyai ketahanan terhadap beban dinamis 2g dan beban kejut 10g serta 16g tanpa terjadi kerusakan. Kekuatan tarik *suspension lug* dengan kondisi terpasang 4 ulir dari benda uji bom latihan yang sudah mengalami vibrasi dan beban kejut 6 jam adalah 47.5kn (21.5g). Sedangkan kekuatan tarik *suspension lug* dengan kondisi terpasang *full* ulir adalah 52.5kn (23g). Kekuatan tarik *suspension lug* dengan kondisi terpasang 4 ulir dari benda uji bom latihan² yang tidak pernah mengalami vibrasi dan beban kejut adalah 82.5kn (38g), sedangkan kekuatan tarik *suspension lug* dengan kondisi terpasang *full* ulir adalah 77.5kn (36g).

Kata Kunci : Bom Latihan, Uji Struktur, Vibrasi, Frekuensi Pribadi

Abstract

To maintain the safety of pilots in carrying bomb-carrying aircraft, several structural test requirements are needed for all training bomb components. Testing the structure of the training bomb includes: measuring the personal frequency of the training bomb by means of a vibration test, testing with dynamic loads and shock loads and static tests on the structure of the training bomb test object. In this study, all these tests will be carried out. This research was carried out in the laboratory of Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS-BPPT). The test results show that the training bomb¹ structure has a personal frequency above 33 Hz. The training bomb structure has resistance to dynamic loads of 2g and shock loads of 10g and 16g without any damage. The tensile strength of the suspension lug with 4 threads installed from the drill bomb test object which has been subjected to vibration and shock load for 6 hours is 47.5kn (21.5g). While the tensile strength of the suspension lug with fully threaded conditions is 52.5kn (23g). The tensile strength of the suspension lug with 4 threads installed from the drill bomb test² object which has never experienced vibration and shock loads is 82.5kn (38g). while the tensile strength of the suspension lug with fully screwed conditions is 77.5kn (36g).

Key Words : Training Bomb, Structural Test, Vibration, Personal Frequency

1. PENDAHULUAN

Pesawat tempur yang terlibat membawa aneka jenis persenjataan udara ke udara

dan udara kedarat, termasuk bom yang tergantung di bawah body maupun sayap pesawat sebelum diterbangkan harus melakukan pengecekan secara

keseluruhan, termasuk pengecekan bom yang dibawa [1]. Dalam bidang penerbangan, keamanan penumpang dan kru menjadi prioritas utama. Karena jika terjadi kesalahan, maka keselamatan akan sangat terancam [1]. Pengujian ini dimaksudkan untuk memastikan apakah bom latihan benar-benar aman dalam kondisi terbang sebenarnya [2]. Bom latihan adalah bom yang digunakan dalam latihan pesawat tempur, yang mana bom memiliki struktur yang sama dengan bom asli, hanya saja tidak memiliki bahan peledak di dalamnya. Pengujian struktur bom latihan meliputi :

1. Pengukuran frekuensi pribadi bom latihan melalui pengukuran vibrasi (getaran),
2. Pengujian dengan beban dinamis dan beban kejut
3. Uji statik pada struktur benda uji Bom Latihan.

Frekuensi pribadi (*Natural Frequency*) adalah frekuensi dari sistem getaran bebas (*free vibration*) tanpa peredaman yang ditentukan oleh sifat dari sistem tersebut. Pengukuran frekuensi pribadi bom latihan bertujuan untuk mengetahui apakah bom latihan memiliki frekuensi pribadi yang sama dengan pesawat. Pesawat tempur pada umumnya memiliki frekuensi pribadi sekitar 5 s/d 15 Hz. Jika berada pada rentang yang sama maka akan terjadi resonansi [3]. Resonansi adalah Peningkatan frekuensi pribadi suatu sistem menyebabkan terjadinya getaran yang sangat besar. Getaran tersebut mengakibatkan terjadinya kerusakan pada suatu bagian tertentu [4] dari sistem tersebut. Jika resonansi terjadi maka, bom dapat meledak ketika terbang. Untuk mengukur vibrasi (getaran) alat yang digunakan adalah *accelerometer*. Prinsip kerja sensor *accelerometer* adalah prinsip kerja percepatan. *Accelerometer* mampu mengukur percepatan linier dalam tiga sumbu (x, y dan z) [5]. Geraknya benda bermassa pada *accelerometer* yang

diakibatkan oleh adanya gaya, sesuai dengan hukum kedua newton.

2. METODE PENELITIAN

Data Benda Uji

Benda uji terdiri dari 2 set bom dengan empat buah *suspension lug*. Bom ini *container*-nya terbuat dari material baja. Struktur Bom Latihan terdiri dari beberapa komponen antara lain badan bom, ekor assy dan suslug. Berat bom adalah Bom Latihan(1) = 2,21 kN dan Bom Latihan(2) = 2,14 kN.

Tabel 1. Jenis Pengujian Pada Dua Benda Uji

No	Benda Uji	Jenis Pengujian
1	Bom Latihan (1)	Uji vibrasi dan uji dengan beban dinamis/kejut Uji dengan beban statis (4 ulir terpasang) Uji dengan beban statis (full ulir terpasang)
2	Bom Latihan (2)	Uji dengan beban statis (4 ulir terpasang) Uji dengan beban statis (full ulir terpasang)

Spesifikasi teknik bom latihan terdiri dari :

1. Kaliber : 250 kg
2. Panjang Total : 1500 mm
3. Panjang *body* : 845 mm
4. Diameter *body* : 350 mm
5. Bahan *Body* : Baja SC 37- 46
6. Letak CG : 498.98 mm
7. Bahan Peledak : -
8. Panjang *Tail Bomb*: 655 mm
9. *Fin span* : 350 mm
10. Bahan *Fin* : Baja ST-37
11. Jumlah *Suslug* : 2 (dua) buah
12. Jarak antara *Suslug*: 250 mm
13. Bahan *Suslug* : Baja VCN 45
14. Jenis fuze : AVU-ETM/AVE – ETME
15. Jenis Cat Bom : *Army green dop* No. 3303 dan Atau setara

Gambar 1. Bentuk dan susunan struktur benda uji Bom Latih

Peralatan yang digunakan untuk pengujian struktur bom latih adalah :

1. Jig dan rig (1 set)
2. Servocontroller, Kelsey Instrument (1 set)
3. PC dan Dynamic Loading Program (1 set)
4. Mesin servohydraulic, Kapasitas 250 kN (1 set)
5. Accelerometer, Type B 12/200, kapasitas 40 g (1 set)
6. Spectrum Analyzer, ONO SOKKI 2 channels (1 set) Peralatan Inspeksi (MPI)

Metode Pengujian

Pengukuran getaran untuk mengetahui frekuensi pribadi

Pengukuran frekuensi pribadi [6] dilakukan dengan cara mengukur respon benda uji dengan memberikan eksitasi getaran [7] berbentuk sinusoidal dengan amplitudo konstan sebesar ± 0.5 mm dan frekuensi berubah dari 0 s/d 33 Hz (kemampuan rig dan mesin uji s/d 33 Hz). Frekuensi pribadi akan dapat diketahui [8] jika terjadi resonansi pada benda uji. Resonansi tersebut akan ditunjukkan oleh terjadinya kenaikan amplitudo getaran dan setelah frekuensi pribadi terlampaui maka amplitudo getaran akan menurun kembali. Pengamatan mode getaran dilakukan dengan menggunakan *accelerometer* sebagai sensor percepatan dan dianalisis dengan menggunakan *spectrum analyzer* kemudian hasilnya diprint yang berupa grafik percepatan getaran vs frekuensi.

Gambar 2. Set-up dan Sistem Pengukuran Getaran dan Uji Dinamis / Kejut

Pengujian Dinamis untuk Mengetahui Kekuatan Sistem Gantungan dan Struktur Bom Akibat Beban Dinamis dan Kejut

Pengujian dinamis dengan beban dinamis dan beban kejut yang dimaksudkan yaitu apabila benda uji dibebani dengan beban dinamis berulang (beban berubah terhadap waktu) dan suatu saat atau periode tertentu diberikan sebuah amplitudo yang relatif lebih tinggi dari yang lain (*over load*). Untuk pengujian ini beban yang diberikan pada Bom Latih (1) adalah sinusoidal dengan amplitudo konstan dilakukan berulang dengan besar beban, frekuensi dan waktu pengujian tertentu. Waktu pengujian setiap benda uji adalah 6 jam dan setiap interval 10 menit diberikan beban kejut. Pada 3 jam pertama beban dinamis yang diberikan yaitu $F_{max} = 5$ kN (2g), $F_{min} = 0,25$ kN dan beban kejut (*overload*) sebesar 25 kN (10g). Sedangkan pada 3 jam kedua besar beban dinamis yang diberikan yaitu $F_{max} = 5$ kN (2g), $F_{min} = 0,25$ kN dan beban kejut sebesar 40 kN (16g). Frekuensi pengujian sebesar 8 Hz. Pemeriksaan NDT dilakukan sebelum dan sesudah pengujian. (catatan: Menggunakan swaybrace dengan jarak gantungan 250 mm. Skema *set-up* dan

sistem pengujian seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2.

Pengujian Statik

Pengujian statik pada Bom Latih (2) dilakukan langsung setelah dilakukan *basic inspection*, sedangkan pengujian statik pada Bom Latih (1) dilakukan setelah pengujian vibrasi dan beban kejut selama 6 jam. Pengujian statik pada Bom Latih dilakukan dengan menahan *container* dari bom (di-clamp ke *strong floor*) kemudian menarik suspension lug (posisi 4 ulir dan full ulir terpasang) dengan aktuator 250 kN. Selama pengujian, grafik hubungan gaya dan langkah mesin (*stroke*) direkam dengan *X-Y Recorder*. Skema *set-up* dan sistem pengujian seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Gambar 3. Set-up dan Sistem Uji Statik

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pegujian Frekuensi Pribadi

Dari hasil pengukuran yang terdapat dalam Tabel 2 terlihat bahwa frekuensi pribadi dari bom belum ditemukan sampai pengujian getar dengan frekuensi 33 Hz (kecenderungannya masih naik). Karena itu jika frekuensi pribadi sayap pesawat pengangkutnya sekitar 5 s/d 15 Hz (pada umumnya) maka dalam penggunaannya tidak akan terjadi resonansi antara bom dan sayap pesawat pengangkutnya (masih aman).

Tabel 2. Hasil Pengukuran Getaran Struktur Bom Latih (1) (Frekuensi Aktuator Berubah dari 0 s/d 33 Hz)

Frekuensi (Hz)	Besarnya Akselerasi (m/s ²)			
	Badan			Ekor
	Vertikal	Longitudinal	Lateral	Vertikal
1	0.006	0.065	0.003	0.0001
2	0.247	0.205	0.003	0.027
3	0.082	0.068	1.719	1.104
4	0.151	0.053	0.283	0.149
5	0.244	0.039	0.011	0.288
6	0.35	0.056	0.513	0.375
7	0.469	0.018	0.022	0.496
8	0.606	0.059	0.038	0.646
9	0.805	0.033	0.279	0.806
10	1.009	0.039	0.138	1.040
11	1.222	0.064	0.154	1.250
12	1.466	0.052	0.988	1.487
13	1.733	0.049	1.356	1.769
14	2.015	0.081	0.669	2.087
15	2.319	0.089	0.530	2.366
16	2.665	0.075	1.144	2.750
17	3.300	0.125	1.023	3.135
18	3.186	0.111	0.746	3.490
19	3.736	0.108	0.044	3.966
20	4.211	0.126	2.107	4.471
21	4.641	0.147	0.121	5.101
22	5.155	0.223	0.110	5.776
23	5.638	0.073	0.103	5.797
24	5.984	0.108	0.464	6.673
25	6.846	0.132	0.231	7.475
26	7.057	0.157	0.482	8.160
27	8.181	0.151	0.188	9.495
28	8.974	0.168	0.248	10.028
29	9.713	0.186	0.266	10.806
30	10.575	0.124	0.287	11.227
31	11.244	0.136	0.308	12.866
32	12.303	0.126	0.324	13.477
33	13.041	0.090	0.309	13.824

Gambar 4. Grafik Hubungan antara Percepatan dan Frekuensi pada Uji Vibrasi Bom Latih (1)

Ketahanan Struktur Bom Terhadap Beban Dinamis dan Beban Kejut

Pengujian dinamis dengan beban kejut 50 kN (setara 10g) tiap 10 menit dilakukan pada benda uji sampai dengan 86.200 siklus dengan frekuensi 8 Hz (3 jam pertama). Dari hasil pengujian dinamis terlihat bahwa benda uji tidak mengalami kerusakan hingga 86.200 siklus. Pada persiapan pengujian dinamis dengan beban kejut 80 kN (setara 16g) tiap 10 menit dilakukan pada benda uji sampai dengan 86.200 siklus dengan frekuensi 8 Hz (3 jam kedua), benda uji tidak mengalami kerusakan. Kondisi struktur bom saat NDT/ *basic inspection* tidak ada retak.

Tabel 3. Hasil Pengujian Dinamis/ kejut Struktur Bom Latih (1)

No	Benda uji	Beban	Siklus	Keterangan
Beban Kejut 10 g (Lama Waktu Uji 3 jam)				
1	Bom Latih (1)	Fmax = 5 kN (2g) Fmin = 0,25 kN Overload = 25 kN (10g).	86.200	Benda uji tidak rusak
Beban Kejut 16 g (Lama Waktu Uji 3 jam)				
1	Bom Latih (1)	Fmax = 5 kN (2g) Fmin = 0,25 kN Overload = 40 kN (16g).	86.200	Benda uji tidak rusak

Kekuatan *Suspension Lug*

Pengujian statik suspension lug dari bom telah dilakukan dan hasilnya ditampilkan pada Tabel 4 dan grafik pada Gambar berikut :

Tabel 4. Hasil Uji statik Bom Latih

No	Benda Uji	Beban [kN]	Keterangan
1	Gantungan depan (4 ulir) (1)	47.5	Beban setara 21.5g dan benda Uji rusak(suslug patah)
2	Gantungan belakang (full ulir) (1)	52.5	Beban setara 23g dan benda Uji rusak(suslug patah)
3	Gantungan depan (4 ulir) (2)	81.25	Beban setara 38g dan benda Uji rusak(suslug patah)
4	Gantungan belakang (full ulir) (2)	77.5	Beban setara 36g dan benda Uji rusak (suslug patah)

Gambar 5. Grafik hubungan Gaya vs Langkah mesin (stroke) Pada uji statik Bom Latih (1)

Gambar 6. Grafik hubungan Gaya vs Langkah mesin (stroke) pada uji statik Bom Latih (2)

4. SIMPULAN

Dari hasil pengujian dan pembahasan benda uji Bom Latih di atas, disimpulkan bahwa :

1. Struktur Bom Latih (1) mempunyai frekuensi pribadi di atas 33 Hz.
2. Struktur Bom Latih (1) mempunyai ketahanan terhadap beban dinamis 2g dan beban kejut 10g serta 16 g tanpa terjadi kerusakan.
3. Kekuatan tarik *suspension lug* dengan kondisi terpasang 4 ulir dari benda uji Bom Latih (1) yang sudah mengalami vibrasi dan beban kejut 6 jam adalah 47.5kN (21.5g). Sedangkan kekuatan tarik *suspension lug* dengan kondisi terpasang full ulir adalah 52.5kN (23g).

Kekuatan tarik *suspension lug* dengan kondisi terpasang 4 ulir dari benda uji Bom Latih (2) yang tidak pernah mengalami vibrasi dan bebab kejut adalah 82.5kN (38g). Sedangkan kekuatan tarik *suspension*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Eddy priyono, "reverse engineering high drag bomb," vol. 1, no. 3, pp. 1–8, 2011.
- [2] D. Ependi, A. Prasetya, and A. Armawi, "strategi produksi 'bom p 100 live' untuk pemenuhan kebutuhan dalam negeri guna mendukung ketahanan alat utama sistem senjata (studi di pt. Dahana (persero) subang, provinsi jawa barat)," *j. Ketahanan nas.*, vol. 25, no. 1, p. 15, 2019, doi: 10.22146/jkn.42697.
- [3] S. S. Rahardi, "Perhitungan Nilai Frekuensi Untuk Uji Getar Produk Aki Berdasarkan SNI 0038 : 2009 Frequency Value Calculation For Vibration Test Of Lead Acid," vol. 2009, pp. 37–40, 2009.
- [4] M. F. Ikhwansyah Isranuri, "Simulasi Getaran Berbasis Metode Elemen Hingga Menggunakan Software Ansys Untuk Mengidentifikasi Kondisi Komponen Utama Turbin Pembangkit Listrik," no. 2, pp. 27–35, 2020.
- [5] D. Alfas Zainur Rohman, "Rancang Bangun Alat Ukur Getaran Menggunakan Sensor Micro Electro Mechanical System (Mems) Akselerometer," *Edu Elektr. J.*, vol. 4, no. 1, pp. 8–16, 2015.
- [6] Mustafa, "Penentuan Frekuensi Pribadi Pada Getaran Balok," vol. 2, no. 2, pp. 163–168, 2011.
- [7] A. Priantoko, A. Murdifin, A. Adkhiyan, and S. Slamet, "Optimasi Desain Struktur Bed Mesin Bubut Cnc Terhadap Pengaruh Defleksi, Frekuensi Pribadi Dan Proses Manufaktur Milling," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 7, no. 1, p. 39, 2016, doi: 10.24176/simet.v7i1.486.
- [8] A. U. Fajar Aswin, M. Riva'i, Dedy Firmansyah, "Analisis Hasil Rekondisi Mesin Frais Aciera F3 Terhadap," pp. 25–31.