

PENGUKURAN KARAKTERISTIK DINAMIKA STRUKTUR SATELIT LAPAN-ORARI/A2 (STRUCTURAL DYNAMICS CHARACTERISTICS MEASUREMENT OF LAPAN-ORARI/A2 SATELLITE)

Mohammad Farid Huzain¹⁾, Robertus Heru Triharjanto²⁾

¹⁾ Perencana Pusat Teknologi Satelit, Lapan

²⁾ Peneliti Pusat Teknologi Satelit, Lapan

e-mail: huzain@lapan.go.id

ABSTRACT

LAPAN-ORARI/A2 is the 2nd generation satellite after LAPAN-A1 (or more known as LAPAN-TUBSAT). LAPAN-ORARI/A2 satellite is the 1st microsatellite being designed, developed, and tested in Indonesia. The paper discusses the structure tests of LAPAN-ORARI/A2 satellite, in this case, the structural dynamic test to find the 1st natural frequency of the satellite's 3 axis. The structural dynamic test is necessary to ensure that the satellite can withstand the dynamic load due to launch vehicle aerodynamics and propulsion system. Therefore, passing the structural dynamic test is the requirement for satellite to be launched. The dynamic load is according to the requirement of satellite launch authority, in this case ISRO-India, which are the 1st resonance higher than 45 Hz for launcher's lateral direction and higher than 90 Hz for launcher's longitudinal direction. The test result shows that the 1st natural frequency happen at satellite's z-axis at 97 Hz and x-axis at 73 Hz. Meanwhile at satellite y-axis (launch vehicle's longitudinal) is at 157 Hz. From the result, it is concluded that LAPAN-ORARI/A2 will be able to endure the dynamic load as defined by launch authority.

Keywords: *Microsatellite, LAPAN-ORARI/A2, Structure test*

ABSTRAK

Satelit LAPAN-ORARI/A2 merupakan satelit generasi kedua setelah satelit LAPAN-A1 (atau lebih dikenal dengan LAPAN-TUBSAT). Satelit LAPAN-ORARI/A2 ini adalah satelit mikro pertama yang dirancang, dibangun, dan diuji di Indonesia. Makalah ini membahas mengenai pengujian struktur satelit mikro LAPAN-ORARI/A2, dalam hal ini pengujian getar untuk mencari frekuensi natural pertama satelit pada tiap sumbu. Pengujian getar sangat perlu dilakukan untuk memastikan bahwa satelit mampu menerima beban sebagai akibat dari sistem aerodinamik dan propulsi dari wahana peluncur (roket). Pengujian getar merupakan salah satu syarat yang harus dilalui sebelum satelit diluncurkan. Beban pengujian ini mengikuti beban yang dipersyaratkan oleh otoritas peluncur satelit, dalam hal ini ISRO-INDIA, yaitu dengan frekuensi resonansi di atas 45 Hz untuk arah lateral dan di atas 90 Hz untuk arah longitudinal. Hasil pengujian getar satelit LAPAN-ORARI/A2 menunjukkan frekuensi natural pertama arah lateral terjadi pada sumbu-Z pada 97 Hz dan pada sumbu-X pada 73 Hz, sedangkan pada arah longitudinal terjadi pada 162 Hz (sumbu Y/vertikal satelit). Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa satelit LAPAN-ORARI/A2 mampu menerima beban sesuai dengan yang dipersyaratkan oleh pihak peluncur.

Kata kunci: *Satelit mikro, LAPAN-ORARI/A2, Pengujian struktur*

1 PENDAHULUAN

Getaran merupakan salah satu beban mekanik yang terjadi pada saat

peluncuran satelit menggunakan roket. Karena itu, sebelum dilakukan peluncuran, satelit harus memenuhi

persyaratan dinamika struktur untuk memastikan bahwa satelit dapat menahan getaran yang akan terjadi. Fungsi pemodelan dinamika struktur dan uji getar adalah memperkirakan dan mengukur karakteristik satelit terhadap beban dinamis getar.

Pada beban getar, terjadinya resonansi adalah hal yang tidak diinginkan karena struktur merespon beban dinamik secara tidak teredam (amplitudo getaran akan semakin membesar sehingga struktur akhirnya akan gagal/patah). Untuk itu perlu dicari *natural frequency* dari struktur tersebut. Dalam menghitung *natural frequency* dilakukan pemodelan matematis atas kekakuan struktur dan inersia. Sementara untuk mengukurnya dilakukan uji getar dengan *sweep* (teknik penyapuan). Teknik penyapuan adalah melakukan eksekusi terhadap selang frekuensi tertentu secara kontinyu dari frekuensi terendah hingga tertinggi. Besarnya frekuensi, akselerasi (amplitudo), dan kecepatan sapuan (oktaf/min) sebagai parameter uji disesuaikan dengan kebutuhan.

Saat ini Pusat Teknologi Satelit (Pusteksat) berada pada fasa kedua program pengembangan satelit mikro. Pada tahap ini satelit mikro yang akan diluncurkan adalah LAPAN-ORARI/A2 dan selanjutnya LAPAN-IPB/A3. Kedua satelit ini diintegrasikan dan diuji sepenuhnya di Indonesia. Sehingga perlu dibangun kemampuan sumber daya manusia dan fasilitas untuk proses tersebut. [Hardhienata, S.; Kartasasmita, M., 2007; Salatun, A. S., 2010]

Persyaratan peluncuran dengan roket *Polar Satellite Launch Vehicle* (PSLV) adalah mempunyai *natural frequency* pada sumbu longitudinal di atas 90 Hz dan sumbu lateral di atas 45 Hz. [Ramakrishnan, S., 1999]. Hal inilah yang harus diketahui dengan pasti oleh tim pengembang satelit di Pusteksat.

Tujuan dari pengujian struktur adalah untuk membuktikan bahwa LAPAN-ORARI/A2 akan tahan terhadap

beban mekanik selama peluncuran dan untuk memvalidasi model dinamik yang dibuat.

Uji getar pada satelit LAPAN-ORARI/A2 untuk mengukur frekuensi natural sehingga dapat memvalidasi model numerik yang dibuat. Uji ini dilakukan di laboratorium uji getar milik Sentra Teknologi Polimer, BPPT yang sudah di-*upgrade*. Perangkat uji yang ada memiliki delapan kanal sensor akselerometer dan *electromechanical shaker* yang mempunyai sistem pemegang untuk uji ke arah horisontal dan lateral.

2 TEORI DASAR

Natural frequency (frekuensi pribadi) adalah karakteristik benda padat yang memiliki massa/inersia dan kekakuan. Bila benda tersebut digetarkan dengan gaya dinamis harmonis yang memiliki frekuensi yang sama dengan frekuensi pribadi benda tersebut, maka amplitudo getaran yang terjadi pada benda akan semakin besar (tidak teredam), sehingga akan mengakibatkan kegagalan struktur.

Untuk kasus dinamika struktur, maka persamaan matematis yang digunakan adalah *modal analisis/eigenvalue problems*. Dari model matematis ini akan diperoleh nilai frekuensi pribadi dan modus getaran dari solid.

Modal analisis akan menghitung frekuensi pribadi dan bentuk respon struktur setiap moda, sehingga bisa memberikan arahan bagaimana modifikasi harus dilakukan, jika frekuensi pribadi yang ada harus diubah.

Sesuai dengan hukum Hooke, Gaya yang berlaku pada benda yang meregang sebanding dengan panjang peregangan x dan kekakuannya. Kombinasi dengan hukum Newton yang menyatakan gaya yang ditimbulkan sebanding dengan percepatan massa, akan mendapatkan persamaan diferensial sistem dinamika untuk getaran pada benda tanpa komponen peredam dan tanpa gaya luar: [Reddy, J. N., 1993]

$$m\ddot{x} + kx = 0 \rightarrow -m\ddot{x} = kx \quad (2-1)$$

Masalah *eigenvalue* didefinisikan untuk menjadi satu cara bagaimana kita mencari nilai dari parameter λ dari persamaan:

$$A(u) = \lambda B(u) \quad (2-2)$$

Di mana A dan B bisa merupakan operasi matriks atau operasi diferensial, dan nilai-nilai A untuk persamaan di atas disebut *eigenvalues*. Untuk setiap nilai A pada vektor u disebut *eigenvectors* atau *eigenfunction*. Implementasi konsep tersebut pada persamaan getaran bebas menjadi:

$$\frac{d^2u}{dx^2} = \frac{k}{m}u \quad (2-3)$$

di mana $\frac{k}{m} = \lambda$, atau dalam teori getaran $\lambda = \omega^2$, atau merupakan kuadrat dari frekuensi getaran, ω . [Reddy, J. N., 1993]

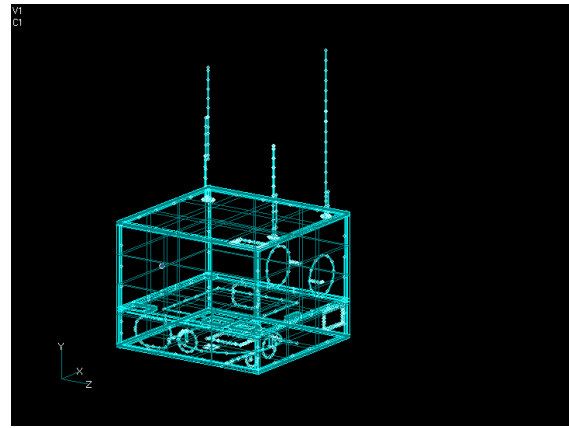
3 SIMULASI NUMERIK

3.1 Proses Pemodelan Numerik

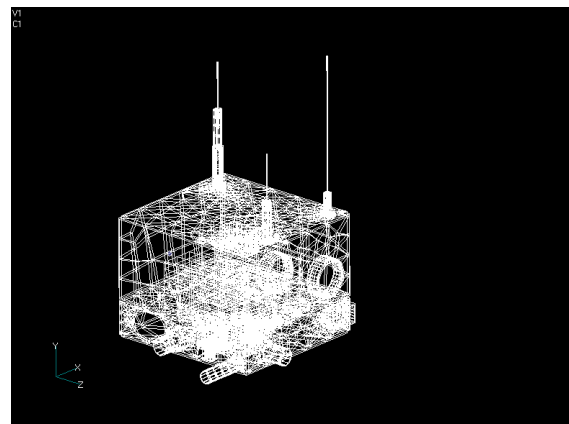
Pemodelan *Finite Element Method* (FEM) untuk struktur utama satelit dibuat sesuai dengan kondisi sebenarnya. Struktur utama satelit LAPAN-ORARI/A2 terdiri dari tujuh buah pelat dengan lebar (X) × tinggi (Y) × panjang (Z) = 470×380×500 mm (Gambar 3-1).

Di luar struktur utama ada beberapa protrusion (tonjolan keluar) yaitu enam antena, tiga pemegang *solar sensor* (pemindai surya) dan dua *baffle lensa* dari kamera *payload* (muatan). Sisi Y- merupakan tempat dudukan *separation ring* (dudukan satelit pada roket peluncur). Bisa dilihat pada Gambar 3-2.

Satelit dipasang pada dudukan berupa ring yang dihubungkan dengan 12 baut, kemudian disambungkan pada dudukan di roket peluncur, karena itu pada nodal-nodal daerah ke 12 baut tersebut dari model FEM diberikan *constraint* tipe "*fixed supported*" atau arah Tx, Ty, Tz, Rx, Ry, dan Rz (arah 123456). *Constraint* 6 DOF tersebut berbentuk lingkaran berdiameter 298 mm dengan titik pusat tepat di pusat massa satelit.



Gambar 3-1: Geometri LAPAN-ORARI/A2 Flight Model sebelum di meshing



Gambar 3-2: Hasil meshing pemodelan Satelit LAPAN-ORARI/A2

Struktur Satelit LAPAN-ORARI/A2 menggunakan material *Al-Alloy 7075 T651*, sedangkan ketiga antena UHF *whip* menggunakan *Stainless Steel*. Karena itu, pemodelan juga menggunakan dua material tersebut. Material yang pertama adalah *high strength aluminium* dengan *Youngs Modulus (E)* 71GPa; *Shear Modulus (G)* 26,9GPa; *Poisson's Ratio (nu)* 0,33; berat jenis 2768,5kg/m³ untuk struktur utama dan *dummy load*. Material yang kedua adalah *Stainless Steel* dengan *Youngs Modulus (E)* 196,5GPa; *Shear Modulus (G)* 77,2GPa; *Poisson's Ratio (nu)* 0,27; berat jenis 7834,6kg/m³. Total terdapat 7529 elemen dan 5769 *nodes*. Jenis elemen berupa elemen tetrahedral. *Meshing* dilakukan dengan moda *automesh* diawali dengan pengaturan *mesh control* yang berbeda-beda baik pada struktur utama maupun pada tiap-tiap antena.

Asumsi yang digunakan dalam pemodelan antara lain komponen satelit

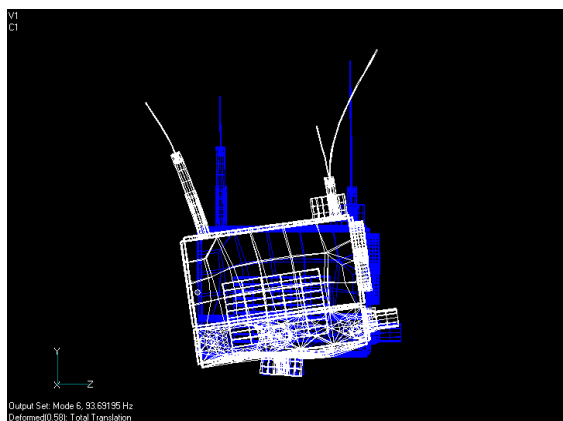
diwakili dengan *dummy load* tanpa ada peredam getaran (pegas), sambungan tiap pelat dianggap sebagai material kontinyu, dan struktur utama berupa pelat dengan tebal homogen 10 mm.

Pembuatan model FEM dari struktur satelit mikro LAPAN-ORARI/A2 secara tepat per komponen sulit dilakukan. Untuk itu diasumsikan bahwa seluruh komponen yang ada di dalam satelit digantikan dengan suatu *dummy load*, yang mensimulasikan kontribusinya terhadap berat, pusat massa, dan inersia. Dari perhitungan didapatkan dimensi $p \times l \times t$ *dummy load* adalah $280 \times 280 \times 115$ mm (atas) dan $280 \times 280 \times 65$ mm (bawah).

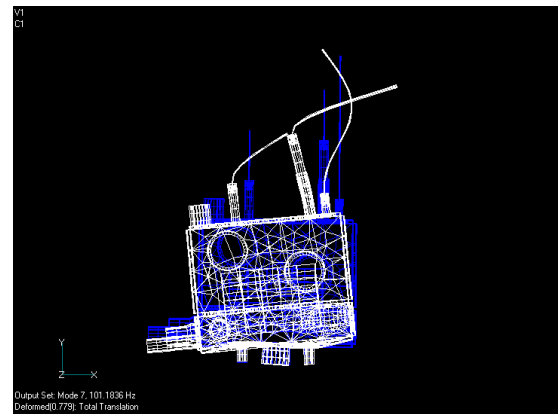
Tipe analisis untuk mendapatkan frekuensi pribadi pada perangkat lunak ini adalah tipe *Normal Modes/Eigenvalues*.

3.2 Hasil Simulasi Numerik

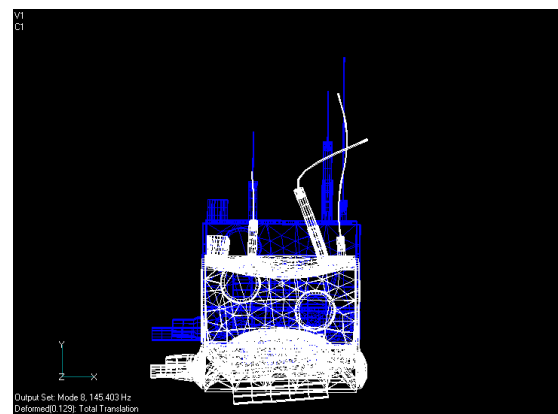
Hasil analisis numerik menunjukkan terjadinya frekuensi pribadi pertama pada frekuensi 93 Hz, terjadi pada arah sumbu Z, yaitu arah ke depan dan belakang. Frekuensi pribadi selanjutnya terjadi pada frekuensi 101 Hz, terjadi pada arah sumbu X, yaitu arah ke samping kanan dan kiri. Kemudian untuk arah sumbu Y (arah vertikal) frekuensi pribadi pertama terjadi pada frekuensi 145 Hz. Gambar 3-3, 3-4, dan 3-5 menunjukkan prediksi moda getar dari model satelit LAPAN-ORARI/A2 pada tiap-tiap frekuensi pribadi tersebut.



Gambar 3-3: Prediksi moda getar frekuensi pribadi di sumbu Z pada frekuensi 93 Hz



Gambar 3-4: Prediksi moda getar frekuensi pribadi di sumbu X pada frekuensi 101 Hz



Gambar 3-5: Prediksi moda getar frekuensi pribadi di sumbu Y pada frekuensi 145 Hz

4 Uji Getar

4.1 Persyaratan Uji Getar

Tujuan dari pengujian getar struktur adalah untuk membuktikan bahwa LAPAN-ORARI/A2 akan tahan terhadap beban mekanik selama peluncuran dan untuk memvalidasi model dinamik yang dibuat sebelum diberikan kepada otoritas peluncur untuk dianalisis bersama dengan pemodelan dinamik roket secara menyeluruh.

Tabel 4-1: PARAMETER Uji SINE VIBRATION

Axis	Freq. (Hz)	Qualification level	Acceptance level
Longitudinal	4-10	10 mm (0 to Peak)	8 mm (0 to Peak)
	10-100	3,75 g	3 g
Lateral	2-8	10 mm (0 to Peak)	8 mm (0 to Peak)
	8-100	2,5 g	2 g
Sweep rate		2 Oct/min	4 Oct/min

Karakteristik dinamik struktur LAPAN-ORARI/A2 dibatasi oleh persyaratan PSLV yakni frekuensi resonansi pertama ke arah axis panjang roket harus lebih dari 90 Hz dan ke arah axis lateralnya lebih besar dari 45 Hz. Begitu juga dengan performa pengujian, otoritas peluncur PSLV (ISRO-India) menetapkan bahwa persyaratan uji getar yang harus dilakukan ditunjukkan pada Tabel 4-1 dan 4-2.

Tabel 4-2: PARAMETER UJI *RANDOM VIBRATION*

Frequency	Qualification PSD (g^2/Hz)	Acceptance PSD (g^2/Hz)
20	0,002	0,001
110	0,002	0,001
250	0,034	0,015
1000	0,034	0,015
2000	0,009	0,004
gRMS	6,7	4,47
Duration	2 min/axis	1 min/axis

Untuk mencari resonansi dilakukan uji getar dengan performa sebagai berikut:

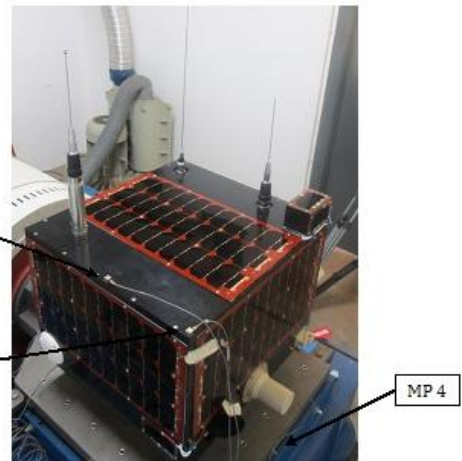
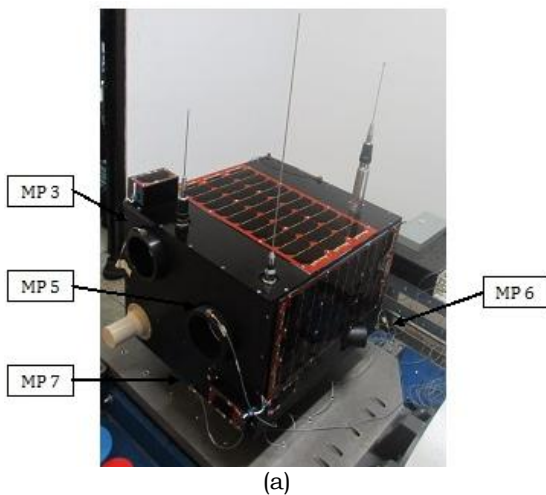
- frekuensi : 8 – 200 Hz
- percepatan : 0.5 g
- *sweep rate* : 4 oct/min (one upsweep)

4.2 Proses Uji Getar

4.2.1 Uji getar lateral (arah sumbu x dan sumbu z)

Uji getar yang pertama dilakukan adalah uji getar pada arah lateral searah sumbu X satelit. Pengujian dilakukan dengan memanfaatkan tujuh akselerometer pada bagian LAPAN-ORARI/A2 dan satu akselerometer (sensor nomor 4) pada meja uji sebagai akselerometer acuan.

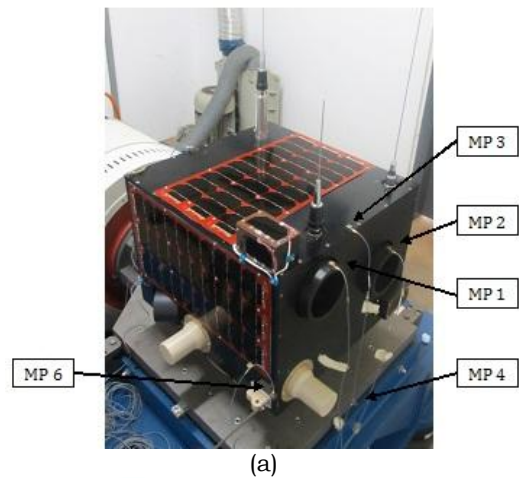
Sumbu X



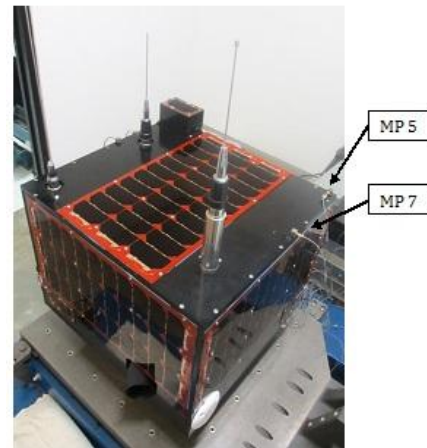
Gambar 4-1: (a) dan (b) Penempatan akselerometer pada satelit LAPAN-ORARI/A2 saat uji getar arah sumbu X

Pengujian getar lateral arah sumbu X ini dilakukan pada parameter: frekuensi 8 – 200 Hz; akselerasi 0,5 G; laju sapuan 4 oktaf/min. Hasil rekaman secara grafis ditunjukkan pada bagian hasil dan analisa (Gambar 5-1).

Sumbu Z



(a)



(b)

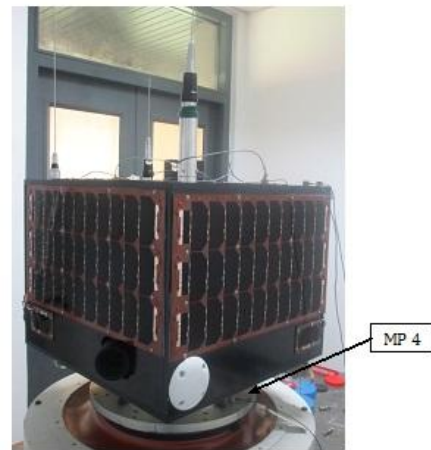
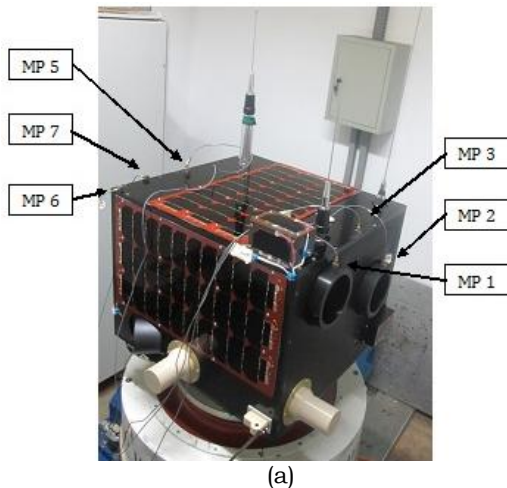
Gambar 4-2: (a) dan (b) Penempatan akselerometer pada satelit LAPAN-ORARI/A2 saat uji getar arah sumbu Z

Pengujian getar lateral arah sumbu Z ini dilakukan pada parameter: frekuensi 8 – 500 Hz; akselerasi 0,5 G; laju sapuan 4 oktaf/min. Hasil rekaman secara grafis ditunjukkan pada bagian hasil dan analisa (Gambar 5-2).

4.2.2 Uji getar longitudinal (arah sumbu y)

Uji getar yang berikutnya adalah uji getar pada arah longitudinal (arah sumbu Y) satelit. Pengujian juga dilakukan dengan meletakkan tujuh akselerometer pada bagian LAPAN-ORARI/A2 dan satu akselerometer (sensor nomor 4) pada meja uji sebagai akselerometer acuan. Susunan penempatan akselerometer dapat dilihat pada gambar berikut.

Sumbu Y



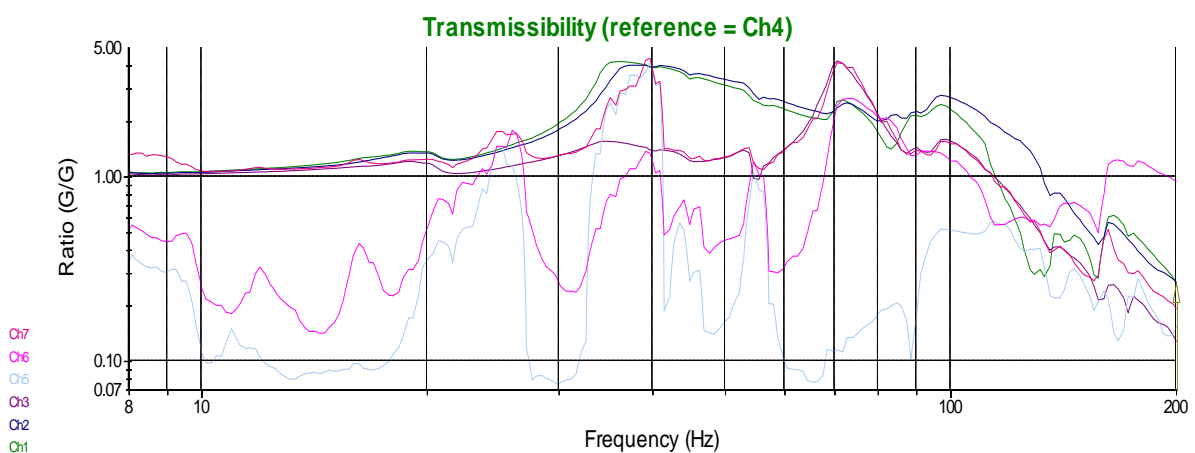
(b)
Gambar 4-3: Penempatan akselerometer pada satelit LAPAN-ORARI/A2 saat uji getar arah sumbu Y

Pengujian getar longitudinal dilakukan pada parameter: frekuensi 8 – 200 Hz; akselerasi 0,5 g; laju sapuan 4 oktaf/min. Data pengamatan direkam langsung dengan menggunakan komputer dalam bentuk grafis. Hasil rekaman secara grafis ditunjukkan pada bagian hasil dan analisa.

5 HASIL DAN ANALISA

5.1 Frekuensi Pribadi Pertama

Hasil uji getar (pengukuran resonansi) menunjukkan frekuensi pribadi pertama terjadi pada 97 Hz (sumbu Z) dan 73 Hz (sumbu X) pada arah lateral dan pada arah longitudinal pada 157 Hz (sumbu Y/vertikal).

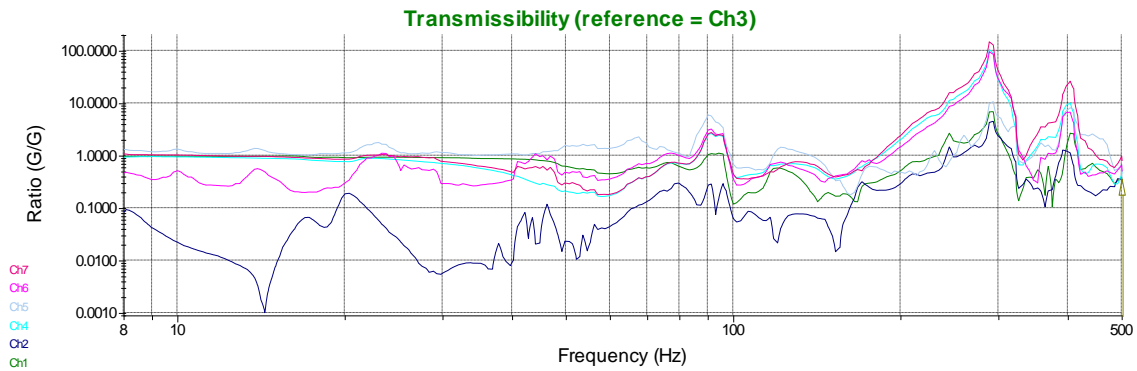


Aug 13, 2012 13:48:21 Level 1) 100%
Demand: 0.5 G Sweep 1 of 1
Control: 0.5 G Total Time: 0:01:24

Output: 0.1593 V
Frequency: 200.0 Hz
Running

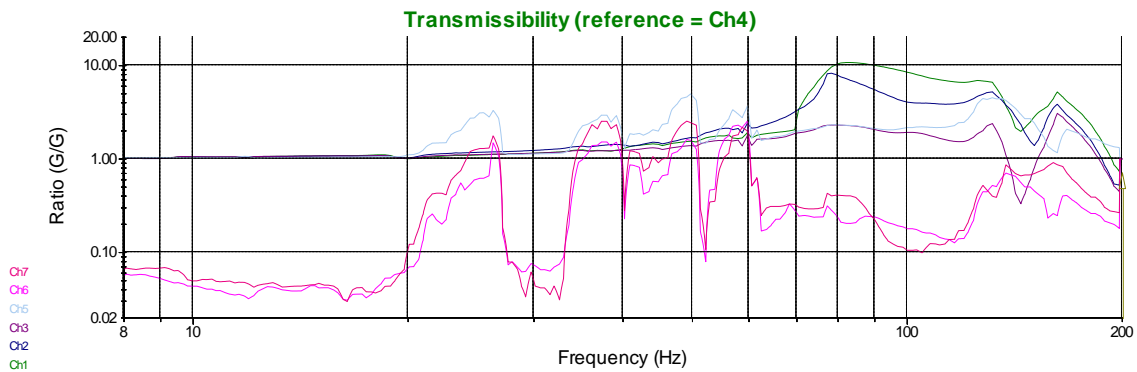
test 0.5G 8-200Hz 4 oct/min sumbu :
uji satelit
ARF

Gambar 5-1: Grafik hasil uji getar lateral sumbu X pada satelit LAPAN-ORARI/A2



Aug 13, 2012 12:20:08 Level 1) 100% Output: 0.1643 V test 0.5G 8-500Hz 4 oct/min sumbu :
 Demand: 0.5 G Sweep 1 of 1 Frequency: 500.0 Hz uji satelit
 Control: 0.5032 G Total Time: 0:01:41 Running ARF

Gambar 5-2: Grafik hasil uji getar lateral sumbu Z pada satelit LAPAN-ORARI/A2



Aug 13, 2012 16:26:32 Level 1) 100% Output: 0.02899 V test 0.5G 8-200Hz 4 oct/min second
 Demand: 0.5 G Sweep 1 of 1 Frequency: 200.0 Hz uji kamera satelit
 Control: 0.4899 G Total Time: 0:01:20 Running ARF

Gambar 5-3: Hasil uji getar lateral sumbu Y pada satelit LAPAN-ORARI/A2

Tabel 5-1: HASIL PENGUKURAN RESONANSI

axis	MP	before sine	after sine/before random	after random
X	MP 6	$f_0 = 70 \text{ Hz} / Q = 2$	$f_0 = 73 \text{ Hz} / Q = 2$	$f_0 = 73 \text{ Hz} / Q = 2$
	MP 7	$f_0 = 70 \text{ Hz} / Q = 4$	$f_0 = 73 \text{ Hz} / Q = 4$	$f_0 = 73 \text{ Hz} / Q = 4$
Y	MP 2	$f_0 = 157 \text{ Hz} / Q = 3$	$f_0 = 162 \text{ Hz} / Q = 3$	$f_0 = 162 \text{ Hz} / Q = 3$
	MP 1	$f_0 = 157 \text{ Hz} / Q = 5$	$f_0 = 162 \text{ Hz} / Q = 5$	$f_0 = 162 \text{ Hz} / Q = 5$
Z	MP 3	$f_0 = 103 \text{ Hz} / Q = 3$	$f_0 = 97 \text{ Hz} / Q = 2$	$f_0 = 97 \text{ Hz} / Q = 2$
	MP 5	$f_0 = 87 \text{ Hz} / Q = 3$	$f_0 = 86 \text{ Hz} / Q = 3$	$f_0 = 86 \text{ Hz} / Q = 3$

5.2 Sine Vibration

Tabel 5-2: HASIL TES SINE VIBRATION

Axis	frequency (Hz)	Level
lateral axis (X-axis) (Rightward - Leftward)	8	16 mm
	8 - 100	2.5 g
longitudinal axis (Y-axis) (Upward - Downward)	8	23 mm
	8 - 100	3.5 g
lateral axis (Z-axis) (Frontward - Backward)	8	16 mm
	8 - 100	2.0 g
sweep rate	2 octaves per minute	

accelerometer not in direction of excitation, only used to find resonance frequencies, no quality factor calculated

5.3 Random Vibration

Tabel 1-3: HASIL TES RANDOM VIBRATION

axis	frequency (Hz)	Level (g ² /Hz)
all three axis	20	0,002
	110	0,002
	250	0,034
	1000	0,034
	2000	0,009
overall level	6.7 g _{RMS}	
duration	2 minutes per axis	

6 KESIMPULAN

Hasil uji getar menunjukkan bahwa satelit memiliki frekuensi pribadi 97 Hz dan 73 Hz pada arah lateral (minimal 45 Hz yang diizinkan), dan 162 Hz pada arah longitudinal (minimal 90 Hz yang diizinkan). Dengan demikian, satelit LAPAN-ORARI/A2 telah memenuhi kualifikasi yang ditentukan oleh otoritas peluncur, dalam hal ini ISRO-INDIA.

Melalui pengamatan visual sebelum, selama, dan setelah pengujian getar, satelit LAPAN-ORARI/A2 tidak menunjukkan adanya kerusakan, hal ini menunjukkan bahwa satelit telah berhasil melalui tahap uji getar tanpa ada kerusakan. Begitu juga dengan uji fungsi satelit baik sistem keseluruhan maupun sub-sistem.

Perbandingan antara hasil pengujian dengan simulasi numerik adalah sebagai berikut:

Tabel 2-1: TABEL PERBANDINGAN HASIL SIMULASI DENGAN HASIL UJI GETAR

Frekuensi pribadi	Hasil simulasi (Hz)	Hasil uji (Hz)
Sumbu X	101	73
Sumbu Y	145	162
Sumbu Z	93	97

Hasil simulasi menunjukkan frekuensi pribadi pertama tidak berbeda jauh dengan hasil uji getar (pengukuran resonansi). Perbedaan pada sumbu Y dan Z sangat kecil yakni kurang dari 10%, tetapi pada sumbu X terjadi perbedaan yang signifikan. Hal ini

diketahui karena asumsi pada simulasi sambungan sebagai material kontinyu (koneksi pada semua nodal) dan juga asumsi *dummy load* yang menyebabkan muatan satelit dimodelkan tanpa peredam getar. Asumsi ini membuat kondisi kekakuan model berbeda dengan kekakuan satelit pada keadaan nyata. Pemodelan dengan moda ini dilakukan untuk memudahkan simulasi karena elemen khusus yang mensimulasikan sambungan baut dan peredam getaran tidak tersedia pada perangkat lunak standar.

Berdasarkan hasil simulasi numerik struktur LAPAN-ORARI/A2 dapat disampaikan bahwa pemodelan yang dilakukan mempunyai validitas yang baik. Dengan demikian, file pemodelan ini sudah dapat dikirimkan kepada otoritas peluncur untuk dianalisis bersama dengan pemodelan dinamik roket secara menyeluruh.

DAFTAR RUJUKAN

- Barkanov, E., 2001. *Introduction to the Finite Element Method*, Institute of Materials and Structures, Riga Technical University.
- Cook, R. D., 2007. *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*, 4th Edition. Wiley India Pvt. Ltd.
- Desai, C. S., 1988. *Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga*, Penerbit Airlangga, Jakarta.
- Hardhienata, S.; Kartasasmita, M., 2007. *Chapter 1. Strategy of Indonesiaan*

- Satellite Technology Development, Lapan-TUBsat: From Conception to Early Operation*, Penerbit LAPAN.
- Huzain, M. F., 2012. *Rancangbangun dan Implementasi Baffle untuk Star Sensor STS-LPN-016*.
- Huzain, M. F., 2013. *Analisis Dinamik Struktur Satelit LAPAN-ORARI/A2 Menggunakan Simulasi Numerik Finite Element Method*, dalam proses diterbitkan pada Buku Ilmiah Pusat Teknologi Satelit.
- Institute for Composite Structure & Adaptive System, DLR, 2005. *Test Report: Vibration Test Lapan-TUBsat*, DLR-MDT-005-05.
- MSC/NASTRAN for Windows Analysis Examples Manual*, 1998. The MacNeal-Schwendler Corporation.
- PSLV-C#/LAPAN-ORARI/A2, 2011. *Spacecraft Interface Control Document (ICD)*, Issue No. 1, Antrix Corporation Limited, Bangalore, India and LAPAN, Indonesia.
- Ramakrishnan, S., 1999. *Polar Satellite Launch Vehicle Auxiliary Satellite User's Manual*, Indian Space Research Organisation, Department of Space, Government of India.
- Rao, S. S., 2004. *Mechanical Vibration*, 4th Edition, Pearson Prentice Hall, New Jersey.
- Reddy, J. N., 1993. *An Introduction to The Finite Element Method*, 2nd Ed., McGraw-Hill.
- Salatun, A. S., 2010. *Konsep Rekayasa Satelit Equatorial Mitigasi Bencana, Satelit Mikro untuk Mitigasi Bencana dan Ketahanan Pangan*, IPB Press.
- Sentra Teknologi Polimer, 2012. *Testing Report, LAPAN Satellite-A2 Vibration*, Re1346897431.
- Sugiharmadji H. P. S., *Dynamic Characteristics Analysis of Lapan-Tubsat Micro-Satellite Structures*, PUSTEKWAGAN TECHNICAL DOCUMENT NO. TR – 3351003.
- Triharjanto, R. H., 2007. *Desain dan Pengujian Struktur Satelit Mikro LAPAN-TUBSAT*.
- Triharjanto, R. H.; Hasbi, W., 2007. *Chapter 10. Mechanical & Electrical Interface of Lapan-TUBsat*, Lapan-TUBsat: First Indonesian Micro Satellite; Penerbit LAPAN.
- Triharjanto, R. H.; Huzain, M. F., 2011. *Pengembangan Model Dinamika Struktur Satelit Mikro di Lapan*.

