

PROSES MANUFAKTUR DAN INTEGRASI STRUKTUR INASAT-1 LAPAN

Widodo Slamet

Peneliti Pusat Teknologi Satelit, Lapan
e-mail: wid_slamet@yahoo.com

RINGKASAN

Struktur satelit memiliki fungsi sebagai pengikat dan pelindung muatan-muatan yang dibawa oleh satelit tersebut. Inasat-1 merupakan satelit nano yang digunakan sebagai sarana penelitian untuk meningkatkan kemampuan para peneliti di bidang teknologi satelit. Inasat-1 telah diuji fungsional sebagai *Engineering Model*. Tujuan penulisan ini adalah untuk menunjukkan bahwa proses desain hingga manufaktur telah menghasilkan struktur satelit yang lolos uji getar. Proses manufaktur struktur Inasat-1 diawali dengan perancangan untuk menentukan model dan komponen-komponen struktur, dengan material aluminium AL-7075-T6. Manufaktur dilakukan dengan berbagai peralatan yang ada, seperti CNC dan *milling*. Integrasi dilakukan dengan menerapkan peta operasi yang menggambarkan aliran proses dari berbagai jenis pekerjaan yang berhubungan secara logis. Pengujian dilakukan dengan cara simulasi dan uji getar secara fisik. Hasil perancangan berupa struktur segi enam atau heksagonal. Sedangkan hasil uji getar menunjukkan bahwa struktur Inasat-1 memenuhi persyaratan roket yaitu frekuensi natural > 45 Hz pada sumbu x dan y, serta >90 Hz pada sumbu z.

1 PENDAHULUAN

Indonesia *nano satellite-1* (Inasat-1) merupakan satelit nano untuk penelitian sistem satelit di Lapan. Misi Inasat-1 adalah misi ilmiah untuk mengukur kuat medan magnet orbit. Satelit ini telah selesai hingga *Engineering Model*. Untuk bisa diterbangkan perlu satu langkah lagi yaitu *Flight Model*. Untuk meningkatkan Inasat-1 hingga *Flight model* dan diluncurkan, diperlukan kebijaksanaan pimpinan Lapan.

Sistem satelit terdiri dari banyak sub sistem, salah satunya adalah struktur. Struktur merupakan sub sistem yang mengikat dan melindungi semua muatan yang dibawa satelit (Wijker, 2008). Struktur dirancang dan dibuat sendiri karena tidak diperjualbelikan. Berbeda halnya dengan sub sistem yang lain yang bisa dibeli di komunitas satelit. Oleh karena itu diperlukan manufaktur di bengkel-bengkel yang ada, baik di Lapan maupun di luar Lapan. Sebelum dimulainya proses manufaktur,

diperlukan perancangan struktur. Perancangan ini harus menghasilkan desain yang bisa dimanufaktur (Shingley, 2004).

Proses manufaktur dilakukan dengan menggunakan berbagai peralatan seperti alat pembentuk (*machining, sheet metal forming, forging* dan sebagainya). Perancangan dilakukan dengan memperhatikan berbagai faktor, misalnya persyaratan lingkungan roket dan antariksa, mesin-mesin yang akan digunakan, dan kemudahan integrasinya. Sebelum proses manufaktur dilakukan, rancangan struktur perlu diuji menggunakan *software* untuk memudahkan analisa rancangan dan menghemat waktu dan biaya jika analisa rancangan menghasilkan struktur yang tidak memenuhi persyaratan. Uji fisik dilakukan setelah proses manufaktur dan integrasi selesai. Tujuan penulisan ini adalah untuk menunjukkan bahwa proses desain hingga manufaktur telah menghasilkan struktur satelit yang lolos uji getar.

2 PERANCANGAN STRUKTUR INASAT-1

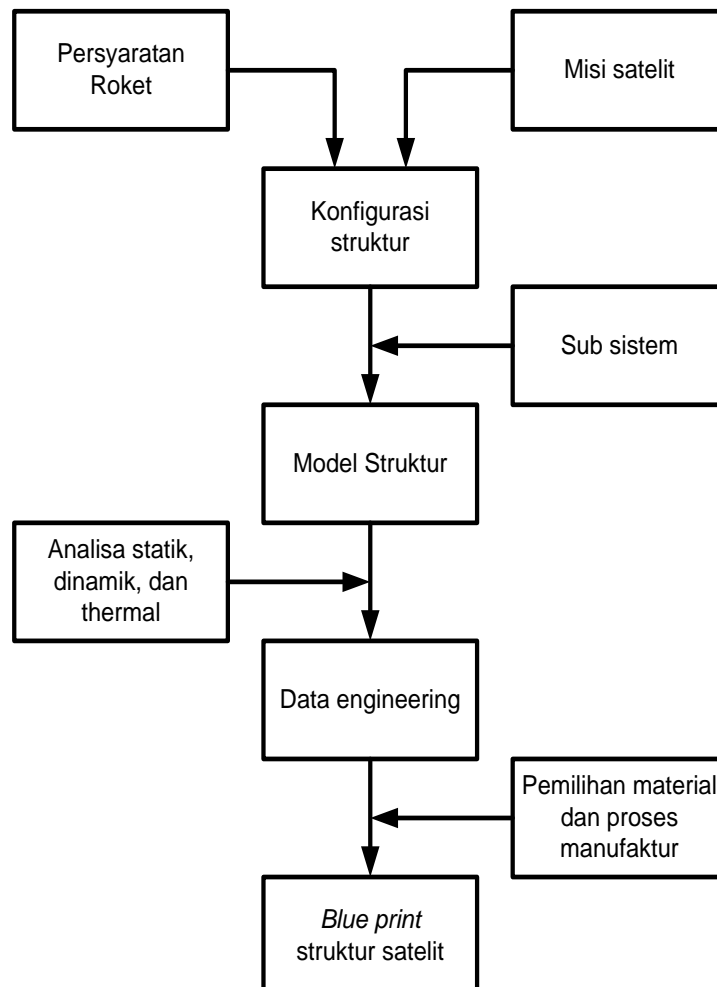
2.1 Alur Perancangan

Untuk merancang sebuah struktur satelit diperlukan berbagai langkah yang terintegrasi dengan sub sistem yang lain (Griffin, 2004). Selain itu diperlukan pula masukan dari roket peluncurnya mengenai persyaratan *properties* satelit, misalnya batasan dimensi dan massa, frekuensi natural, dan posisi *Center of Gravity* (CoG) yang harus dipenuhi. Yang tidak kalah pentingnya adalah mengakomodasi solar panel yang menjadi sumber energi bagi seluruh sub sistem yang memerlukan catu daya. Alur perancangan struktur Inasat-1 diperlihatkan pada Gambar 2-1.

Dalam alur perancangan tersebut, persyaratan roket berupa dimensi dan bobot maksimum yang diijinkan, posisi pusat massa satelit, dan frekuensi

natural satelit. Sedangkan misi satelit adalah untuk keperluan apa satelit ini dibuat sehingga struktur satelit harus mampu mendukung misi tersebut, dalam hal ini misi Inasat-1 adalah misi ilmiah. Semua sub sistem satelit harus mampu ditampung oleh struktur dengan persyaratan-persyaratan tertentu, misalnya posisi antena, baterai, komputer dan sebagainya.

Dengan persyaratan-persyaratan tersebut maka dibuatlah model struktur yang akan dianalisa menggunakan *software*, misalnya *nastran* atau *software* yang lain. Analisa yang dilakukan adalah analisa dinamik, statik, dan termal. Jika hasil analisa menyatakan memenuhi syarat maka dibuatlah cetak biru yang selanjutnya akan dilakukan proses manufaktur.



Gambar 2-1: Alur perancangan struktur Inasat-1

2.2 Material

Kriteria umum yang digunakan sebagai pertimbangan untuk memilih material terbaik sebagai bahan struktur Inasat-1 adalah (Sarafin, 1997)

- *Stiffness to Mass Ratio*
- *Manufacturing Time*
- *Uniformity* (Kerataan Permukaan)
- *Durability* (Daya tahan)

Stiffness to Mass Ratio merupakan ukuran kekakuan dan kekuatan terhadap masa. Sifat ini sangat penting dalam memilih material struktur satelit sehingga diberi bobot 40%. *Manufacturing Time* adalah sifat yang berhubungan dengan lamanya waktu yang diperlukan untuk mengubah sebuah *raw* material menjadi suatu bentuk yang diinginkan. Bobot dari sifat ini adalah paling rendah, yaitu 15%, karena satelit memerlukan kesempurnaan dalam pembuatannya waktu menjadi tidak sepenting kriteria yang lain. Suatu material yang tidak rata pada permukaannya akan menjadikan instrumen yang menempel pada permukaan itu cepat rusak. Oleh karena itu kerataan permukaan cukup penting, dan diberi bobot 25%, lebih besar dari pada *Manufacturing Time*. Daya tahan (*Durability*) material diberi bobot 20%, lebih rendah dari pada kerataan permukaan. Seperti diketahui, instrumen elektronik akan ditempelkan

pada permukaan material struktur sehingga kerataan memiliki peran lebih besar dibandingkan dengan *durability*. Berdasarkan kriteria-kriteria di atas maka disusunlah tabel bobot terhadap kriteria material struktur.

Uji terhadap kriteria tersebut di atas dilakukan terhadap aluminium Al 7075-T6 dan Al 6061-T6 dengan ketebalan 2,54 cm. Hasil uji, dengan memberikan pembobotan, ditunjukkan oleh Tabel 2-1. Dari Tabel 2-1 tersebut, aluminium 7075-T6 memiliki sedikit kelebihan dari pada Al6061-T6. Inilah alasan mengapa Al 7075-T6 lebih dipilih dari pada Al6061-T6.

2.3 Model Struktur

Berbagai model struktur satelit telah dibuat oleh para pendesain satelit, antara lain kubus, balok, silinder, segi enam atau heksagonal, bola, peluru, dan sebagainya (Sarafin, 1997). Tidak semua model akan dijadikan pertimbangan karena kesulitan dalam proses manufakturnya maupun kesulitan dalam hal pengendaliannya. Hanya model-model struktur yang umum, yaitu bentuk kubus, balok, silinder, dan heksagonal saja yang akan dijadikan pertimbangan. Bentuk-bentuk yang lain misalnya pensil, bola dan corong tidak dibahas.

Tabel 2-1: PEMILIHAN MATERIAL BERDASARKAN PEMBOBOTAN PADA KRITERIA MATERIAL

Kriteria	Bobot	Al 7075-T6		Al 6061-T6	
		Nilai	Bobot nilai	Nilai	Bobot nilai
<i>Stiffness to Mass Ratio</i>	40	10	400	9	360
<i>Manufacturing Time</i>	15	10	150	10	150
Kerataan (<i>Uniformity</i>) Permukaan	25	10	250	10	250
<i>Durability</i>	20	10	200	10	200
Total			1000		960
Prioritas		1		2	

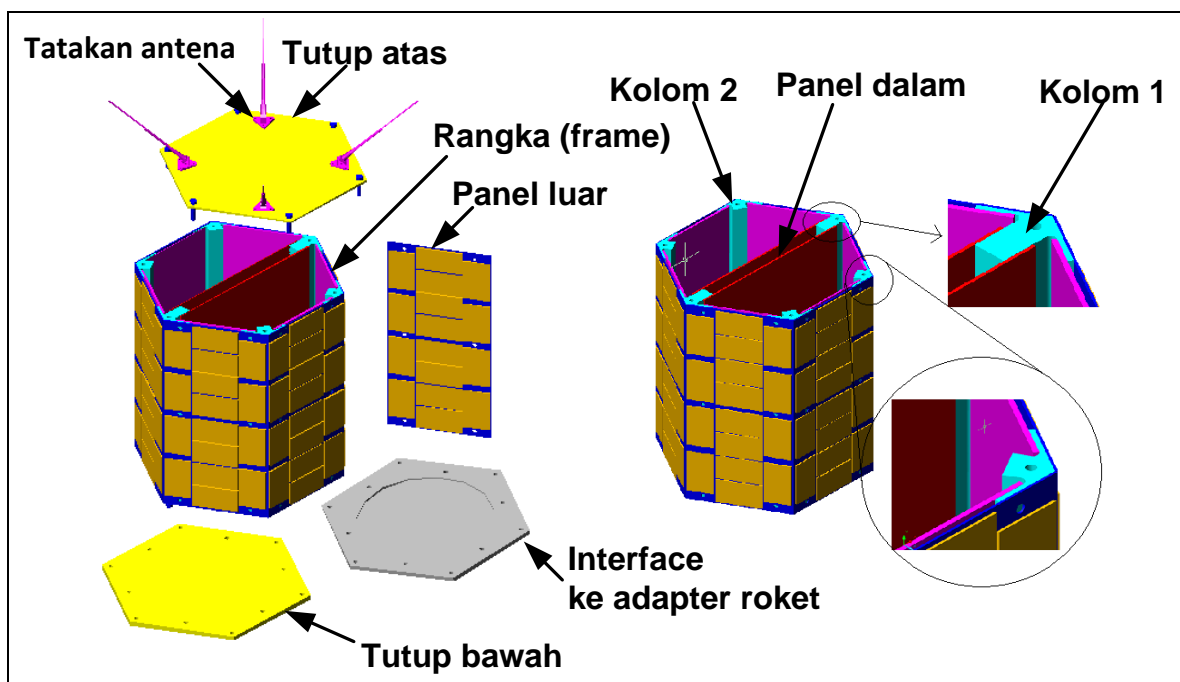
Pertimbangan utama dalam menentukan model adalah jumlah solar sel yang harus bisa ditampung oleh struktur. Jumlah solar sel akan menentukan daya maksimum yang akan digunakan oleh semua sub sistem. Selanjutnya adalah pertimbangan kemudahan manufaktur. Perbandingan model-model struktur ditunjukkan oleh Tabel 2-2.

Sesuai dengan Tabel 2-2, maka model yang dipilih adalah bentuk struktur

heksagonal atau segi enam. Heksagonal memiliki luas yang cukup untuk menampung jumlah solar sel dan stabil dilihat dari geometrinya, serta mudah dimanufaktur. Secara visual, model struktur ditunjukkan oleh Gambar 2-2. Model struktur Inasat-1 diperkirakan memiliki 10 kg dengan diameter kurang dari 300 mm, sedangkan tingginya kurang dari 350 mm.

Tabel 2-2: PEMILIHAN MODEL STRUKTUR DENGAN KRITERIA LUAS PERMUKAAN DAN KEMUDAHAN MANUFAKTUR

Bentuk (model)	Kestabilan	Luas permukaan	Kemudahan manufaktur
Kubus	Tidak stabil	Kurang	Mudah
Balok	Stabil	Kurang	Mudah
Silinder	Stabil	Cukup	Sulit
Heksagonal	Stabil	Cukup	Mudah



Gambar 2-2: Model struktur Inasat-1 berbentuk heksagonal

3 PROSES MANUFAKTUR DAN INTEGRASI

3.1 Proses Manufaktur

Proses manufaktur adalah proses untuk mengubah bahan baku (*raw material*) menjadi suatu bentuk yang sesuai dengan keinginan dengan mempertimbangkan berbagai aspek, antara lain adalah kebutuhan, teknologi, dan ekonomi. Proses manufaktur untuk sebuah struktur satelit, aspek ekonomi dikesampingkan karena faktor jumlah yang terbatas, dan mengutamakan keamanan karena sekali diluncurkan tidak bisa diperbaiki lagi.

Untuk mempermudah manufaktur, struktur satelit ini harus dipisahkan sesuai dengan fungsinya (Shingley, 2004). Yang pertama adalah kelompok struktur primer yang merupakan tulang punggung struktur satelit. Sedangkan yang kedua adalah struktur sekunder yang terdiri dari boks yang menampung rangkaian elektronik

atau instrumen lain, misalnya sensor dan aktuator. Struktur tersier belum perlu dibicarakan mengingat tulisan ini membahas konsep rancangan. Struktur tersier berupa konektor-konektor dan pengkabelan sub-sub sistem. Tabel 3-1 menunjukkan bagian atau komponen utama struktur Inasat-1. Hampir semua bagian struktur Inasat-1 terbuat dari logam dan didominasi oleh logam aluminium. Pada umumnya pengolahan logam terdiri dari proses *machining*, *chemical milling*, *sheet metal forming*, *casting*, *forging*, dan *extruding*.

Dari komponen atau bagian-bagian struktur dapat dikelompokkan berdasarkan posisi pendukung struktur, yaitu struktur utama (primer), struktur sekunder, dan struktur tersier (Ulrich, 2000). Tabel 3-2 menunjukkan bagian-bagian struktur (*parts*) beserta pabrikasi yang dibutuhkan, sedangkan Gambar 3-1 menunjukkan salah satu proses manufaktur struktur Inasat-1.

Tabel 3-1: BAGIAN-BAGIAN STRUKTUR PRIMER INASAT-1

Jenis	Fungsi	Material	Jumlah
Panel luar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Meletakkan solar sel ▪ Melindungi boks muatan 	Al 7075 T6	6
Rangka (<i>frame</i>)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Penguat struktur 	Al 7075 T6	6
Penopang 1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Penyangga struktur ▪ Penyambung antar <i>frame</i> 	Al 7075 T6	4
Penopang 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Penyangga struktur ▪ Penyambung antar <i>frame</i> ▪ Tempat melekatkan panel dalam 	Al 7075 T6	2
Panel dalam	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tempat menempelnya boks muatan 	Al 7075 T6	2
Tutup bawah	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pelindung boks muatan ▪ Penyambung dengan <i>interface</i> roket 	Al 7075 T6	1
Tutup atas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pelindung boks muatan ▪ Tempat meletakkan antena 	Al 7075 T6	1
Tatakan antena	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Memegang antena 	Al 7075 T6	4

Tabel 3-2: BAGIAN-BAGIAN (PART) STRUKTUR INASAT-1

Komponen	Part	Pabrikasi
Struktur Primer	Panel	CNC, drilling, tab, coating
	<i>Frame</i>	CNC, drilling, tab, coating
	Penopang	CNC, drilling, tab, coating
Struktur Sekunder	Boks	miling, drilling, tab, coating
	Antena,udukan	integrasi, bubut dan tab
	Solar panel	integrasi
	<i>Adapter</i>	integrasi
Struktur Tersier	<i>Fasterner</i>	pabrikan
	Konektor	pabrikan
	Pengkabelan	integrasi
CNC: Computer Numerical Control		



(a)



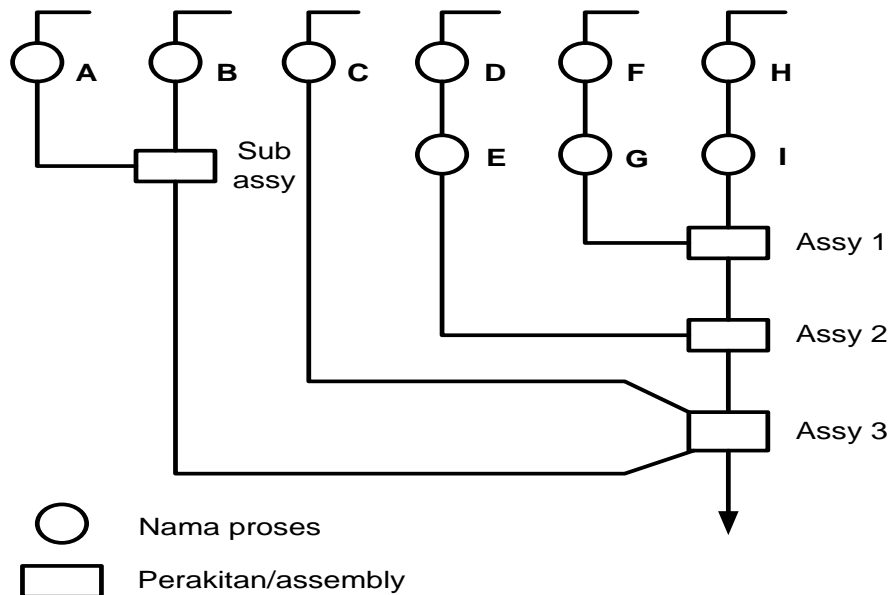
(b)

Gambar 3-1: Salah satu proses manufaktur Inasat-1 (a) dan mesin CNC (b)

3.2 Integrasi

Sistem Inasat-1 diuraikan menjadi sub sistem, sub sistem diuraikan menjadi komponen, komponen menjadi *part* (Kazanas,1999). Oleh karena itu integrasi diawali dari penggabungan beberapa *part* menjadi komponen, beberapa komponen digabungkan menjadi sub sistem, dan terakhir sub sistem menjadi sistem satelit. Proses integrasi akan dipandu dengan petunjuk integrasi sehingga dapat dilakukan oleh teknisi, siapapun teknisinya.

Untuk memudahkan pembuatan pekerjaan perlu dibuat peta operasi yang sangat berguna dalam melakukan pekerjaan integrasi. Peta operasi menggambarkan aliran proses dari berbagai jenis pekerjaan yang berhubungan secara logis hingga menghasilkan suatu produk yang sesuai dengan apa yang diinginkan atau dikehendaki (Campbell, 1996). Gambar 3-2 menunjukkan aliran proses integrasi sistem satelit Inasat-1.



Gambar 3-2: Peta operasi aliran proses integrasi sistem satelit Inasat-1. Proses A dan proses B menghasilkan sub *assembly*. Proses C digabung dengan hasil sub *assembly* menghasilkan *assembly* 3, dan seterusnya akan menghasilkan sebuah sistem, dalam hal ini sistem satelit

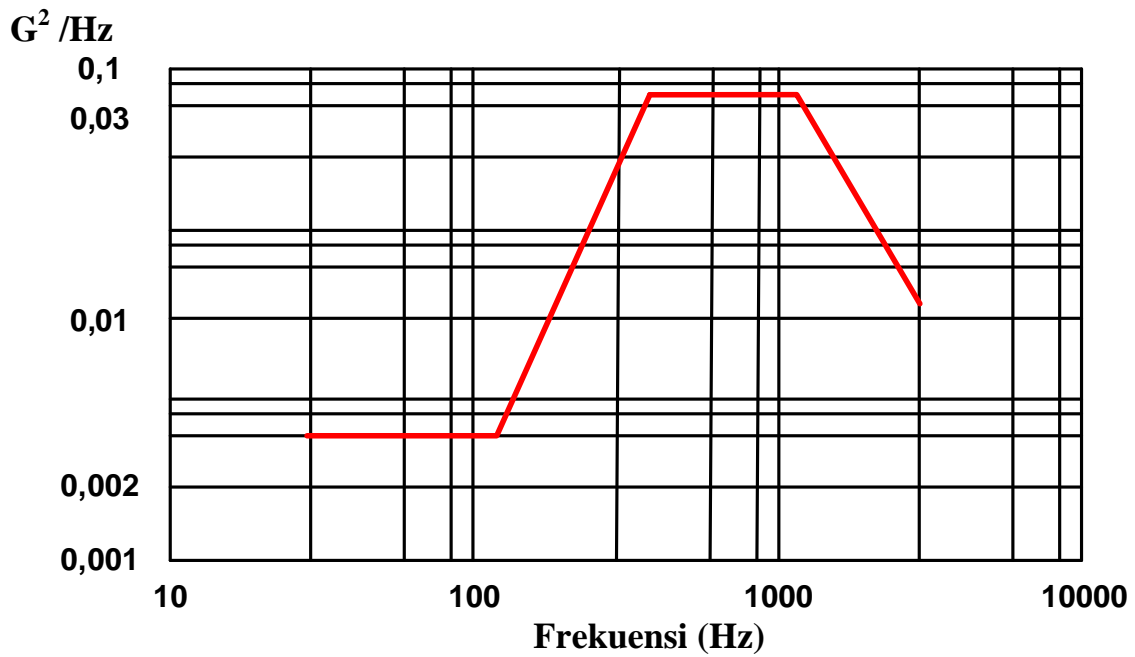


Gambar 3-3: Menunjukkan struktur Inasat-1 yang telah dirakit namun belum terpasang panel luarnya

4 UJI GETAR

Setelah selesai *diassembly* atau dirakit, struktur perlu diuji getar dengan standar uji yang ditentukan oleh peluncurnya. Struktur harus mampu bertahan pada hentakan (*shock*) 20 G pada frekuensi 100 Hz hingga 1000 G (satuan gravitasi) pada frekuensi di atas 1000 Hz untuk semua sumbu. Pada getaran random struktur harus mampu bertahan pada 6,7 GRMS (G *root mean square*) pada *Power Spectral Density* (PSD) roket (*India Space Research*

Organisation (ISRO), 2004). PSD roket PSLV untuk meluncurkan Inasat-1 diperlihatkan oleh Gambar 4-1. Tabel 4-1 menunjukkan tingkat uji getar random, sedangkan Tabel 4-2 menunjukkan hasil uji getar moda random. Tingkat kelolosan uji getar adalah jika frekuensi natural sumbu x dan sumbu y lebih besar dari 45 Hz, sumbu z lebih besar dari 90 Hz. Sumbu z adalah sumbu satelit yang sejajar dengan arah roket, sedangkan sumbu x dan sumbu y adalah sumbu lateral yang tegak lurus dengan sumbu z.



Gambar 4-1: Power spektral density (PSD) roket PSLV untuk meluncurkan Inasat-1

Tabel 4-1: Tingkat uji getar random

Frekuensi	Kualifikasi PSD (g²/Hz)	Akseptansi PSD (g²/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
Durasi	2 min/aksis	1 min/aksis

Tabel 4-2: Hasil pengukuran frekuensi natural

Frekuensi Natural	Uji getar random (Hz)
Sumbu x	155,259
Sumbu y	122,951
Sumbu z	225,172

5 PENUTUP

Struktur Inasat-1 berfungsi untuk mengikat dan melindungi muatan-muatan yang dibawanya. Struktur Inasat telah dirancang dengan alur perancangan yang diawali dari misi dan persyaratan roket. Dari berbagai persyaratan, terutama jumlah solar sel, batasan dimensi dan bobot serta kestabilan pengendalian maka diputuskan struktur Inasat-1 berbentuk segi enam (*hexagonal*).

Struktur Inasat-1 juga telah dimanufaktur yang menghasilkan struktur yang mampu berfungsi sesuai dengan tujuannya. Proses manufaktur struktur Inasat_1 dilakukan dengan berbagai mesin seperti CNC, *milling*, tab dan *drilling*.

Sedangkan proses integrasi dilakukan dari penyambungan komponen-komponen hingga menjadi bentuk struktur Inasat-1. Struktur ini juga disimulasi menggunakan *software nastran* dan diuji getar dengan menghasilkan frekuensi natural yang memenuhi syarat peluncurnya, yaitu frekuensi natural > 45 Hz pada sumbu x dan y, serta >90 Hz pada sumbu z.

Pelajaran terpenting dari proses manufaktur struktur Inasat-1 adalah pengalaman lapangan dan mengetahui mitra kerja yang memiliki fasilitas

permesinan dan pengujian di Indonesia, yang dapat dimanfaatkan oleh Lapan. Pelajaran berikutnya adalah proses yang harus diikuti secara terurut untuk dijadikan SOP perancangan, pembuatan dan pengujian struktur satelit.

DAFTAR RUJUKAN

- Campbell, James S., 1996. *Principles of Manufacturing and Processes*, McGraw Hill Book Co., New York.
- Griffin, Michael, D., 2004. *Space Vehicle Design 2nd*, AIAA Educations Series, Virginia.
- Kazanas, H. C., 1999. *Basic Manufacturing Processes*, Macmillan, New York.
- Manual user guide polar satellite launch vehicle (PSLV), Indian space research organisation (ISRO), 2004.
- Sarafin, Thomas P., 1997. *Spacecraft Structures and Mechanisms*, Microcosm Press, Torrance, California.
- Shingley, Joshep E., 2004. *Mechanical Engineering Design 7th Edition*, McGraw Hill Book Co., Singapore.
- Ulrich, Karl T., 2000. *Product Design and Development 2nd Edition*, McGraw Hill Book Co., Singapore.
- Wijker, Jakob Job, 2008. *Spacecraft Structure*, Springer, Leiden, Netherlands.