

# SIMULASI PANEL SATELIT MIKRO ISOGRIDALUMINA MENGUNAKAN VISUAL NASTRAN 4D 2001 R2

**Widodo Slamet**

Peneliti Bidang Teknologi Mekatronika dan Elektronika Dirgantara, LAPAN  
e-mail: [wid\\_slamet@yahoo.com](mailto:wid_slamet@yahoo.com)

## ABSTRACT

Structure of satellite needs light material but strongly. One of satellite component structure is plate or skin. Isogrid is modified of plat, that is slight but to be stronged by rib. This paper discuss about aluminium isogrid simulation. Simulations use Visual Nastran 4D 2001 R2 version software. Simulation result shown that isogrid had capability to hold out rocket load factor.

Keywords: *Satellite, Structure, Isogride, Simulation, Aluminium*

## ABSTRAK

Struktur satelit memerlukan bahan yang ringan namun kuat. Salah satu penyusun struktur adalah lempengan atau plat. Salah satu cara modifikasi plat adalah bentuk isogrid, yaitu plat yang ditipiskan namun diperkuat oleh tulangan yang disebut rib. Makalah ini membahas hasil simulasi isogrid dari bahan aluminium. Simulasi menggunakan *software Visual Nastran* versi 4D 2001 R2. Hasil simulasi, diharapkan menunjukkan kemampuan isogrid menghadapi beban gaya roket.

Kata kunci: *Satelit, Struktur, Isogrid, Simulasi, Aluminium*

## 1 PENDAHULUAN

Struktur satelit memerlukan bahan yang ringan namun kuat. Salah satu upaya untuk memenuhi kriteria tersebut adalah pembuatan isogrid dari bahan aluminium. Isogrid adalah plat atau panel (*skin*) satelit yang diperlakukan sedemikian sehingga mempunyai bentuk yang tipis namun diperkuat tulangan, yang disebut rib.

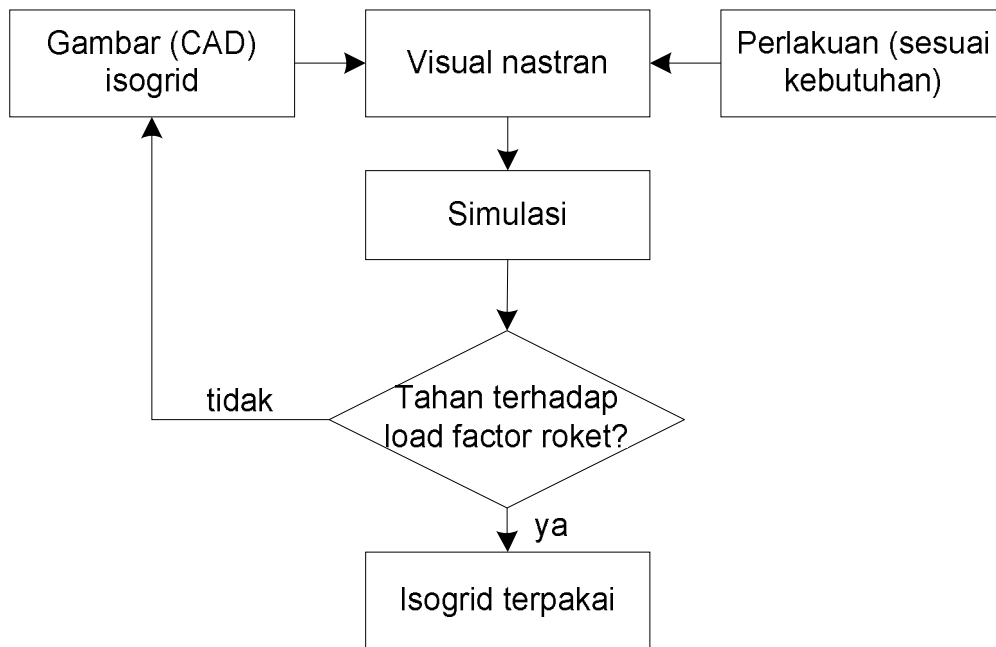
Sebelum uji kekuatan secara riil, sesuai spesifikasi satelit, perlu dilakukan simulasi. Simulasi menggunakan komputer dengan *software* untuk memudahkan jalannya simulasi, yaitu Visual Nastran seri 4D 2001 R2.

Teori yang digunakan untuk mendukung simulasi adalah metode elemen-hingga (*Finite Element Methode*). Teori ini membagi material menjadi elemen-elemen yang jumlahnya berhingga. Dengan perlakuan khusus, misalnya memberi tekanan atau tegangan, akan diketahui bagian mana yang akan mengalami kerusakan atau beban paling besar.

Tujuan penelitian ini adalah memastikan kemampuan isogrid alumina, berdasarkan simulasi, untuk digunakan sebagai bahan struktur satelit mikro. Kemampuan isogrid dapat diketahui jika hasil simulasi menunjukkan bahwa isogrid ini mampu bertahan terhadap gaya-gaya (*load factor*) roket peluncur satelit.

## 2 METODE

Metode simulasi yang digunakan pada penelitian ini adalah memasukkan gambar CAD ke *software Nastran*. Dengan memberi perlakuan terhadap gambar melalui *software* dapat dihitung besarnya tekanan atau besaran lain yang dikenakan pada isogrid. Akan dilihat apakah isogrid mampu bertahan terhadap gaya-gaya (*load factor* roket). Jika bertahan maka isogrid dianggap layak sebagai bahan struktur, sedangkan jika tidak maka perlu digambar ulang dengan perbaikan, misalnya mempertebal rib-nya. Gambar 2-1 menunjukkan diagram alir metode yang digunakan.



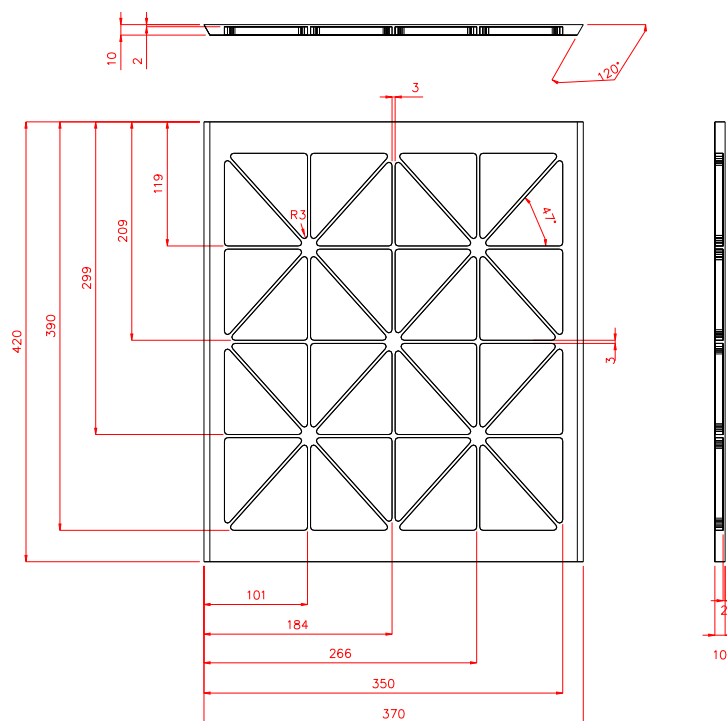
Gambar 2-1: Metode simulasi isogrid alumina

### 3 DASAR TEORI

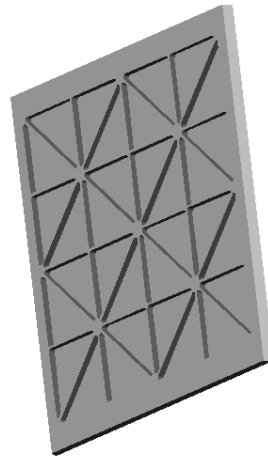
#### 3.1 Isogrid Aluminium

Sebelum dibuat, isogrid digambar untuk menghasilkan data teknis menggunakan autocad versi 2002. Gambar 3-1 menunjukkan gambar teknik isogrid.

Untuk keperluan simulasi digunakan gambar model tiga dimensi. Gambar ini dikembangkan dari Gambar 3-1 dimensi yang di-extrude. Dalam istilah teknik mesin berarti ditarik pada satu sumbu). Gambar 3-2 menunjukkan gambar tiga dimensi isogrid.



Gambar 3-1: Gambar teknik isogrid yang digambar menggunakan autocad 2002



Gambar 3-2: Bentuk tiga dimensi siogrid

### 3.2 Persyaratan yang Harus Dipenuhi

Struktur satelit bertindak sebagai pelindung terhadap sub sistem-sub sistem satelit, oleh karena itu struktur harus mampu bertahan terhadap lingkungan operasi maupun saat diluncurkan oleh sebuah roket, namun bobotnya dibatasi oleh roket sebagai pembawanya. Dengan kata lain struktur harus ringan namun kuat. Kekuatan dan bobotnya, secara numerik dinyatakan oleh bilangan-bilangan berikut.

- Massa jenis : < 280 g/cm<sup>3</sup>
- Poisson ratio : 0,33
- Elongation : < 6%

Roket yang ditumpangi satelit mempunyai keterbatasan-keterbatasan yang harus diantisipasi oleh satelit, terutama kekuatan struktur, antara lain dimensi, massa dan kekuatan satelit. Pada saat peluncuran, karena adanya percepatan roket (akselerasi) maka satelit akan terkena akselerasi tersebut yang dinyatakan oleh faktor beban (*load factor*). *Load factor* ini berbeda antar

satu roket dengan roket lainnya. Tabel 3-1 menunjukkan contoh *load factor* untuk roket PSLV-C6, LM-4, Atlas-II (dalam satuan g).

Pada saat terbang (*flight*) *load factor*-nya disebut beban kuasi statik (*quasi static load*). Dari semua nilai (untuk masing-masing roket), *quasi static load* merupakan nilai yang akan memberikan gaya terbesar pada satelit. Dengan demikian maka untuk menguji suatu bahan struktur nilai inilah yang menjadi perhatian.

Sebuah mikrosat yang mempunyai massa 100 kg (maksimum), diandaikan pusat massa ada ditengah-tengah satelit, maka satelit ini akan memperoleh gaya sebesar

$F = \text{massa} \times \text{akselerasi}$ , ambil yang maksimum, yaitu 7 g (PCLV-C6, flight aksial pada tabel 1). Hasil hitungan tersebut adalah:

$$F = 100 \times 7 \text{ g} \\ = 6230 \text{ N}$$

(g adalah gaya gravitasi bumi, dengan nilai maksimum 8,9 m/detik<sup>2</sup>).

Tabel 3-1: *LOAD FACTOR* DARI TIGA JENIS ROKET YANG BERBEDA

Roket	Kejadian (event)					
	Lift-off		Flight (maksimum)		Shutdown (Pelepasan)	
	aksial	lateral	aksial	lateral	aksial	lateral
PSLV-C6	+1,8/-2,0	±1,2	-7/-2,5	±6	+0,9/-5,0	±2,0
LM-4	-1,9/-1,3	±0,6	-5,8/-4,6	+6/-5	-3,1/+2,9	+0,6/+1,0
Atlas-II	+0,2/-2,7	±1,0	-6,9/-2,5	±5,6	+0,5/-6,0	±2,0

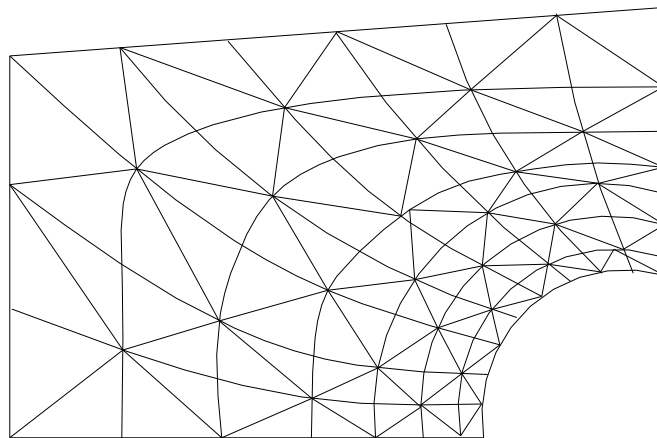
### 3.3 Finite Element Methode (FEM)

Metode elemen hingga adalah prosedur numerik untuk memecahkan masalah mekanika kontinum dengan ketelitian yang dapat diterima oleh para *engineer*. Pada intinya, metode ini adalah membagi suatu bangun geometri menjadi elemen-elemen yang jumlahnya berhingga. Elemen-elemen itu bisa berupa garis, segi tiga, segi empat baik dua dimensi maupun tiga dimensi. Pembagian ini menghasilkan suatu jaring (*mesh*) yang terdiri dari simpul (*node*) dan elemen. FEM digunakan untuk menentukan posisi akselerometer yang jumlahnya terbatas.

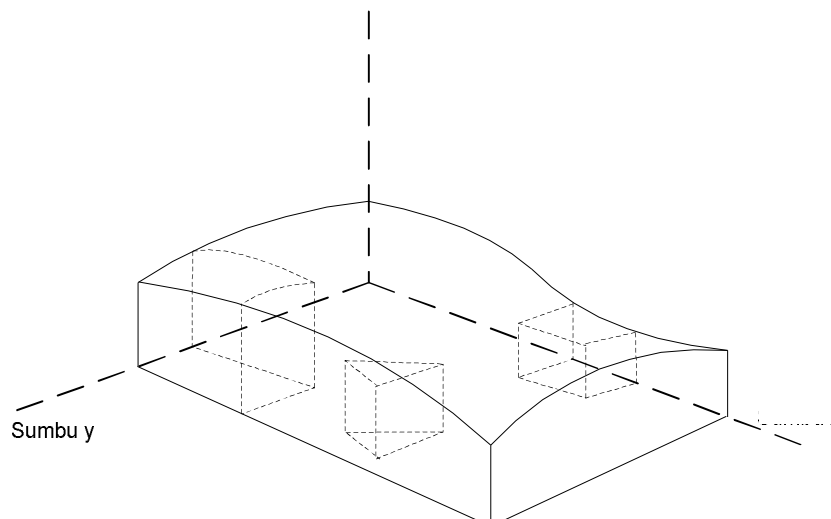
Pembentukan *mesh* dapat dilakukan secara manual maupun otomatis oleh komputer berdasarkan jumlah minimal yang diberikan oleh pemakai.

Otomatisasi dilakukan untuk mengurangi kesalahan dan menghemat waktu yang panjang.

Konsep pembentukan jaring diawali dengan menentukan syarat batas yang dilanjutkan dengan menempatkan titik-titik simpul sepanjang garis dengan jarak yang sama dan memberikan nomor pada titik-titik itu. Bila titik-titik simpul batas telah dialokasikan maka titik-titik simpul interior dapat dibentuk secara otomatis dengan menempatkan secara merata pada posisi sekelilingnya. Gambar 3-3 menunjukkan contoh pembentukan jaring atau *mesh* (dibagi-bagi menjadi elemen kecil-kecil) yang jumlahnya terbatas (*finite*), dua dimensi dan Gambar 3-4 menunjukkan bentuk-bentuk elemen pada benda tiga dimensi.



Gambar 3-3: Jaringan atau *mesh* pada benda dua dimensi



Gambar 3-4: Bentuk-bentuk elemen pada benda tiga dimensi

Setiap elemen mempunyai dua atau lebih simpul (*node*). Jika sebuah struktur diberi konstrain di satu sisi dan sisi yang lain diberi gaya atau tekanan maka akan terjadi perpindahan simpul-simpul pada elemen-elemen struktur. Perpindahan atau *displacement* ini yang akan menjadi perhatian utama untuk menentukan posisi kritis.

Akan dipilih bentuk elemen segitiga. Elemen bentuk ini mempunyai tiga titik simpul pada ketiga sudutnya. Derajat kebebasan (*dof*) titik simpul dapat berjumlah dua atau lebih. Dengan derajat kebebasan ini maka fungsi interpolasi atau fungsi perpindahannya berupa fungsi linier, sehingga elemen segitiga yang mula-mula datar akan tetap datar setelah mengalami perpindahan, dan regangan serta tegangan yang terjadi pada seluruh elemen adalah seragam.

Pada elemen solid dengan kerapatan massa yang seragam, untuk kondisi bidang tegangan, hubungan antara tegangan dan regangan dinyatakan sebagai

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \tag{3-1}$$

di mana

- $\sigma$  : tegangan elemen (N/m<sup>2</sup>)
- $\varepsilon$  : regangan elemen, ( $\Delta l/l$ , tanpa dimensi satuan)
- $E$  : modulus elastisitas material, tanpa dimensi satuan

Untuk elemen solid tiga dimensi, tegangan normal yang bekerja pada elemen dapat dinyatakan sebagai :

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [\varepsilon_x(1-\nu) + \nu\varepsilon_y + \nu\varepsilon_z] \\ \sigma_y &= \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [\nu\varepsilon_x + \varepsilon_y(1-\nu) + \nu\varepsilon_z] \\ \sigma_z &= \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [\nu\varepsilon_x + \nu\varepsilon_y + \varepsilon_z(1-\nu)] \end{aligned} \tag{3-2}$$

di mana:

$\nu$  : *Poisson ratio* dari material

Hubungan hukum Hook untuk tegangan normal,  $\sigma = E\varepsilon$ , bila digunakan untuk tegangan geser didapatkan :

$$\tau_{xy} = G\gamma_{xy} \quad \tau_{yz} = G\gamma_{yz} \quad \tau_{zx} = G\gamma_{zx} \tag{3-3}$$

di mana:

- $\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$  : regangan geser
- $G$  : modulus geser

Dalam bentuk matriks, tegangan pada elemen solid tiga dimensi dapat dituliskan secara keseluruhan sebagai :

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_{yx} \\ \sigma_{zx} \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [F] \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} \tag{3-4}$$

dengan

$$[F] = \begin{pmatrix} (1-\nu) & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ & (1-\nu) & \nu & 0 & 0 & 0 \\ & & (1-\nu) & 0 & 0 & 0 \\ & & & (1-2\nu)/2 & 0 & 0 \\ & & & & (1-2\nu)/2 & 0 \\ & & & & & (1-2\nu)/2 \end{pmatrix} \tag{3-5}$$

simetri

dan digunakan hubungan

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \tag{3-6}$$

Dari persamaan (3-4) dan (3-5) dapat diperoleh matriks tegangan/regangan (*stress/strain matrix*) :

$$[D] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [F] \tag{3-7}$$

Bila ketebalan struktur  $t$ , relatif tipis dibandingkan dengan dindingnya maka elemen solid tiga dimensi dapat dianggap sebagai elemen segitiga dua dimensi dengan koordinat titik-titik simpulnya 1( $x_1, y_1$ ), 2( $x_2, y_2$ ), dan 3( $x_3, y_3$ ). Besarnya

defleksi titik simpul (*nodal displacement*) pada ketiga titik tersebut dapat dinyatakan sebagai:

$$\{d\} = \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \end{Bmatrix} \quad (3-8)$$

Besarnya gaya pada titik-titik simpul elemen dalam bentuk matriks dapat dituliskan sebagai:

$$\{f\} = [k]\{d\} \quad (3-9)$$

di mana :

$\{d\}$  : matriks defleksi pada titik-titik simpul pada persamaan (3-8)

$[k]$  : matriks kekakuan elemen yang besarnya dapat dinyatakan sebagai

$$[k] = \iint_A [B]^T [D] [B] dx dy \quad (3-10)$$

dengan

$[D]$  : matriks tegangan/regangan dari persamaan (3-7)

$t$  : tebal elemen

$[B]$  : transpose dari matriks  $[B]$

Matriks  $[B]$  adalah matriks berikut:

$$[B] = \frac{1}{8bh} \begin{bmatrix} -(h-y) & 0 & (h-y) & 0 & (h+y) & 0 \\ 0 & -(b-x) & 0 & -(b+x) & 0 & (h+x) \\ (b-x) & -(h-y) & -(b+x) & (h-y) & (b+x) & (h+y) \end{bmatrix} \quad (3-11)$$

di mana

$h$  : tinggi elemen segitiga

$b$  : panjang elemen segitiga

(satuan tergantung pada skala yang akan dipakai, misalnya mm, atau cm)

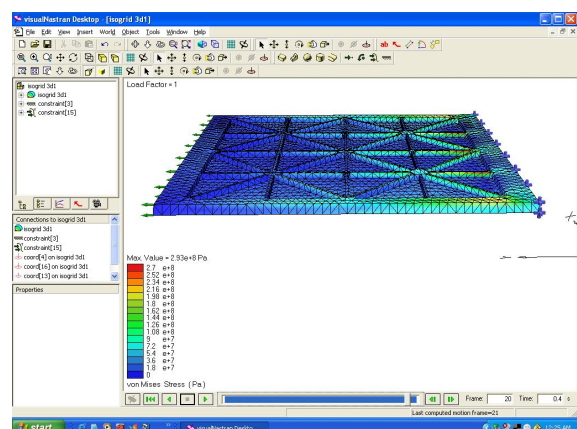
Dari persamaan (3-9), dapat dihitung besarnya tegangan von Mises dengan membagi besarnya gaya yang terjadi,  $\{f\}$  dengan luas elemen. Besarnya tegangan von Mises yang berbeda-beda pada elemen-elemen struktur dapat

dijadikan rujukan untuk menempatkan alat ukur. Elemen yang terkena tegangan paling besar adalah posisi kritis.

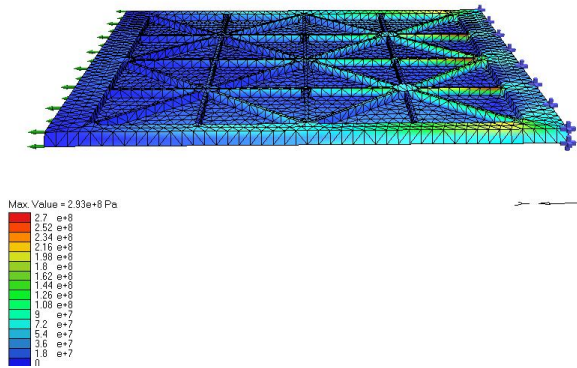
Metode elemen hingga ini, jika dikerjakan secara manual akan memakan waktu yang panjang karena melibatkan matriks dengan ratusan elemen, dan harus dihitung satu persatu. Untuk mempersingkat waktu dan memudahkan perhitungan digunakan komputer dengan bantuan *software* FEM. Data yang diperoleh akan lebih akurat karena mengurangi kesalahan manusia. Hasil pembuatan jaringan (*mesh*) ditunjukkan pada sub bab simulasi berikut.

#### 4 SIMULASI DAN HASILNYA

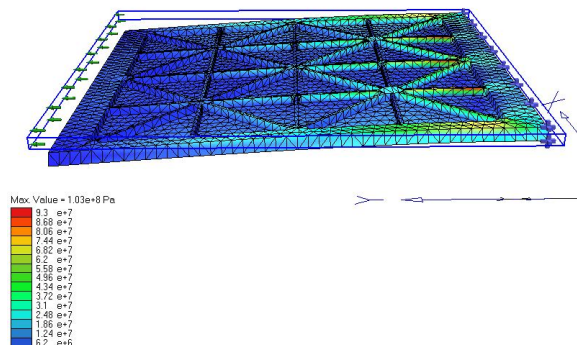
Pada simulasi ini dilakukan dua kali simulasi, pertama adalah gaya tarik, yaitu gaya yang searah dengan panjang benda kerja untuk mengukur dan mengetahui distribusi gaya. Yang kedua adalah gaya tekan yang tegak lurus dengan bidang benda kerja untuk melihat kekuatan bending isogrid. Pada kedua simulasi tersebut juga akan diperlihatkan deformasi atau perubahan bentuk yang terjadi jika isogrid terkena gaya, baik gaya tekan (bending) maupun gaya tarik. Dalam simulasi ini besarnya deformasi diperbesar 100 kali untuk memperjelas perubahan yang terjadi. Masing-masing simulasi diperlihatkan oleh gambar 4-1 hingga Gambar 4-5.



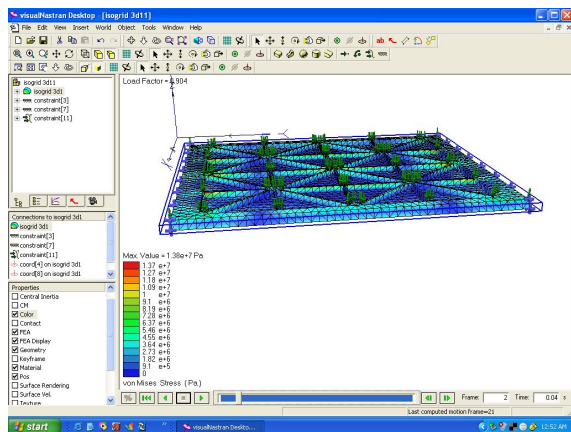
Gambar 4-1: Gambar simulasi gaya tarik



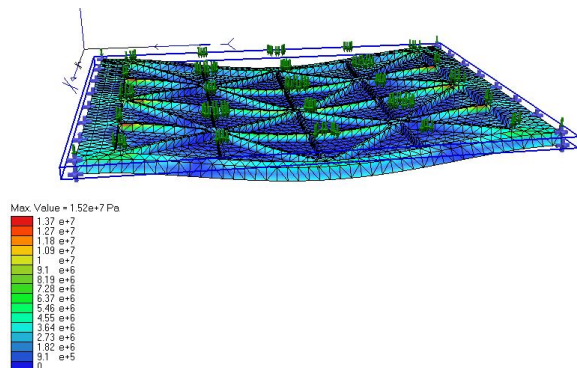
Gambar 4-2: Distribusi gaya pada isogrid pada simulasi gaya tarik



Gambar 4-3: Deformasi yang terjadi pada saat dibebani gaya tarik



Gambar 4-4: Simulasi FEM uji bending



Gambar 4-5: Deformasi yang terjadi pada uji bending

Hasil simulasi menunjukkan bahwa untuk gaya tarik nilai maksimum von Mises-nya adalah  $2,7 \times 10^8$  Pa (dengan menghitung luas bidang yang tegak lurus gaya maka tekanan ini setara dengan  $60 \times 10^6$  N). Sedangkan untuk gaya tekan nilai maksimum von Mises-nya adalah  $1,52 \times 10^7$  Pa (setara  $3,4 \times 10^6$  N). Data yang diperoleh adalah:

- Dari data *load factor* roket peluncur satelit, baik PSLV-C6, LM-4 maupun Atlas -II, gaya maksimum roket adalah 6230 N, atau  $6,23 \times 10^3$  N,
- Kemampuan isogrid menahan beban adalah  $60 \times 10^6$  N untuk gaya tarik dan  $3,4 \times 10^6$  N untuk gaya tekan.

Berdasarkan perhitungan tersebut dapat dikatakan bahwa isogrid alumina ini cukup kuat untuk menahan gaya-gaya roket saat peluncuran. Artinya kekuatan isogrid terhadap tekanan melebihi tekanan yang ditimbulkan oleh roket pembawanya.

## 5 KESIMPULAN

Dari uraian tersebut di atas, dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

- Untuk memperingan struktur tanpa mengecilkan ukuran satelit dibuatlah bentuk panel atau plat (*skin*) isogrid.
- Sebelum digunakan perlu adanya simulasi menggunakan komputer dengan bantuan software FEM.
- Untuk keperluan simulasi digunakan teori Metoda Elemen Hingga, yaitu membagi plat menjadi elemen-elemen dengan jumlah berhingga.
- Hasil simulasi menunjukkan bahwa isogrid dari bahan aluminium ini mampu menahan beban roket (*load factor*) sehingga layak untuk dilanjutkan pada pembuatan dan pengujian riil.

## DAFTAR RUJUKAN

Marshall, George C., 1993. *Isogrid Design Hand Book*, McDonnell Douglas Astronautics Co., Huntington Beach California.

Susatio, Yerri, 2006. *Dasar-dasar Metode Elemen Hingga*, Penerbit Andi, Yogyakarta.

Sarafin, Thomas P., 1987. *Spacecraft Structures and Mechanisms*, Microcosm, Inc., Torrance California.

Khurmi, R. S., 1991. *A text Book of Machine Design*, Eurasia Publishing House, Ltd., Ram Nagar, New Delhi.

Shigley, Joseph E., 2003. *Mechanical Engineering Design*, 7<sup>th</sup> edition, McGraw-Hill Companiec, Ltd., New York.