

# PRAKIRAAN DAMPAK TUBRUKAN SERPIHAN BENDA ANTARIKSA PADA SATELIT LAPAN TUBSAT

NIZAM AHMAD

*Bidang Matahari dan Antariksa,  
Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa – LAPAN  
e-mail : nizam@bdg.lapan.go.id*

**Abstrak.** Pada ketinggian 600 km – 2000 km, serpihan benda antariksa menyebar secara acak. Serpihan ini berpotensi menubruk satelit aktif sehingga dapat mempengaruhi operasional satelit. Prakiraan distribusi fluks obyek di ketinggian orbit satelit LAPAN TUBSAT dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Master 2005. Simulasi ini menghasilkan probabilitas tubrukan yang kecil bila dilihat dari analisis distribusi fluks obyek terhadap inklinasi (orde  $10^{-4}$ ). Satelit LAPAN TUBSAT berada pada ketinggian orbit 630 km dan inklinasi polar ( $i \approx 98^\circ$ ). Satelit ini memiliki struktur berbentuk kotak dan berbahan aluminium berselubung tunggal dengan ketebalan 1 cm, maka meskipun terjadi tubrukan antara serpihan dengan satelit dampaknya akan kecil. Simulasi ini juga memperkirakan kemungkinan sumber tubrukan yang berasal dari serpihan-serpihan dari satelit lain yang pecah.

**Kata kunci :** LAPAN TUBSAT, Serpihan antariksa, Master 2005.

*Abstract.* At the altitude from 600 km until 2000 km space debris spreads randomly. This space debris potentially impinges the active satellites so that would affect those satellites operation. The approximation of flux distribution on LAPAN TUBSAT orbit can be done by using software named Master 2005. This simulation gives information about small impact probability based on the analysis of flux distribution to inclination (order  $10^{-4}$ ). LAPAN TUBSAT satellite was placed at altitude 630 km and polar inclination ( $i \approx 98^\circ$ ). LAPAN TUBSAT satellite has a cubic structure made from aluminium alloy equipped with the single layer and the thickness about 1 cm, nevertheless if space debris impinged the satellite, it would give a small risk. This simulation also predicts the source of impacting body which is come from other satellite's fragments.

*Key words :* LAPAN TUBSAT, Space debris, Master 2005.

## 1. Pendahuluan

Dalam rentang tahun 1997-1998, ruang antar Bumi-Matahari mengalami lonjakan populasi, mulai dari benda-benda alami berukuran mikro (*micro meteoroid*) hingga benda-benda buatan manusia baik yang telah tidak digunakan lagi (pasif) maupun yang masih beroperasi (aktif). Kajian mengenai karakteristik sampah antariksa ini merupakan suatu hal yang fundamental dalam upaya mitigasi dan proteksi lingkungan bumi dan wahana antariksa aktif yang mengorbit. Rata-rata meteoroid mikro dalam ukuran yang sangat kecil memasuki atmosfer bumi setiap tahun sebanyak 40.000 ton (Belk et al., 1997). Materi ini menjadi ancaman utama bagi satelit-satelit geosinkronus (GSO) di ketinggian sekitar 36.000 km dengan kecepatan gerak 70 km/detik. Sampah antariksa yang berasal dari benda-benda buatan manusia seperti satelit pasif, pecahan satelit / roket serta benda-benda lain yang

menjadi bagian dari misi satelit, menjadi ancaman utama operasional satelit pada ketinggian orbit rendah. Massa total benda buatan manusia di antariksa ini diperkirakan sebanyak 2000 ton dengan kecepatan rata-rata 10 km/s (Belk et al., 1997) Meskipun populasinya lebih sedikit dibandingkan populasi meteoroid mikro, namun bila ditinjau dari besarnya dampak tubrukan pada wahana aktif, sampah antariksa yang berasal dari benda buatan manusia ini menimbulkan kerusakan besar dibanding meteoroid mikro.

Satelit LAPAN TUBSAT merupakan satelit pertama buatan Indonesia melalui kerjasama antara LAPAN dengan TU-Berlin. Satelit ini merupakan kelas satelit mikro, ditempatkan pada ketinggian orbit rendah (LEO) sekitar 630 km dengan inklinasi polar ( $i \approx 98^\circ$ ). Satelit ini diluncurkan pada tanggal 10 Januari 2007, sehari sebelum negara Cina meluncurkan misil untuk menghancurkan satelit Fengyun 1C di angkasa.

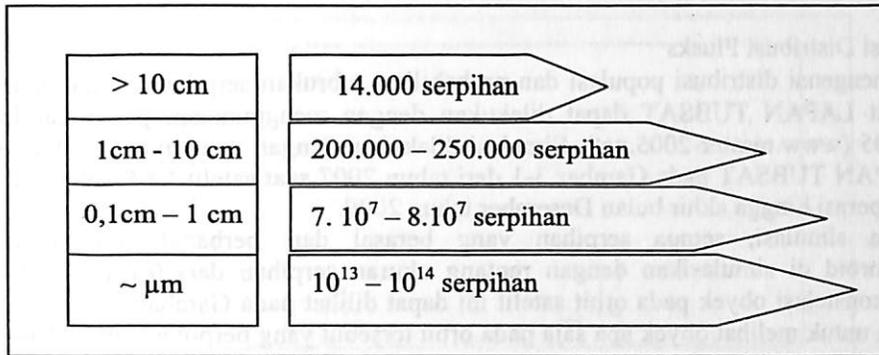
Satelit Fengyun 1C memiliki orbit polar ( $i \approx 99^\circ$ ) dan berada pada ketinggian sekitar 800 km. Penembakan satelit ini diangkasa menambah populasi sampah antariksa karena pecahan satelit ini menyebar secara acak. Hal ini dapat mengancam satelit-satelit ketinggian orbit rendah lainnya termasuk satelit LAPAN TUBSAT.

Saat ini, LAPAN belum memiliki sistem pemantauan (*monitoring*) terpadu untuk memantau kondisi satelit LAPAN TUBSAT di angkasa. Hal ini sulit untuk dideteksi bila terjadi suatu tabrakan antara satelit dengan serpihan benda antariksa yang paling kecil. Cara yang bisa ditempuh adalah dengan melakukan kajian dan analisis besarnya dampak tubrukan dengan satelit. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan menganalisis dampak bila terjadi tubrukan serpihan benda antariksa terhadap satelit LAPAN TUBSAT dengan harapan diperoleh analisis dampak tubrukan serpihan benda antariksa pada satelit yang nantinya digunakan untuk membuat sistem proteksi pada struktur satelit generasi mendatang.

Kajian dan analisis dapat dilakukan dengan melihat distribusi populasi sampah antariksa sekarang pada ketinggian orbit rendah. Hal-hal yang akan dibahas adalah menganalisis dampak tubrukan serpihan pada satelit, mengkaji sistem proteksi pada satelit yang cukup efektif memperkecil dampak tubrukan dan kemudian melakukan simulasi sistem pelindung (proteksi) pada satelit LAPAN TUBSAT.

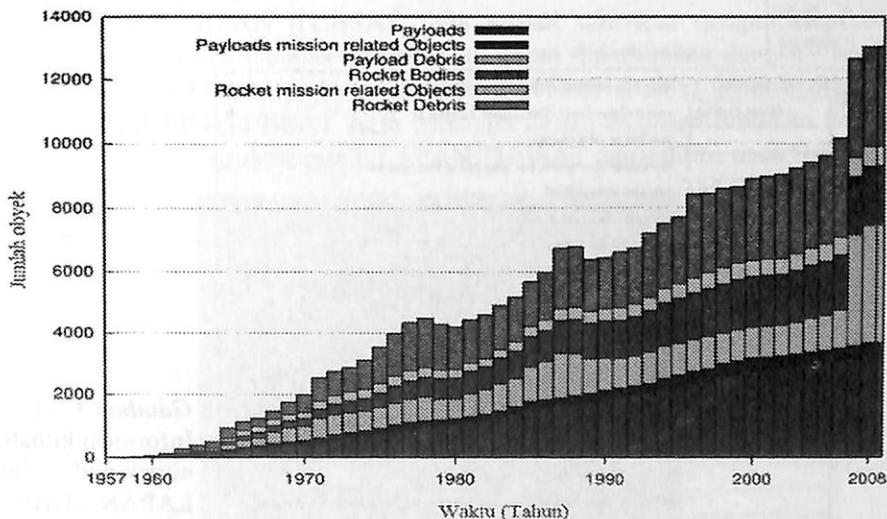
## 2. Data

Berdasarkan data yang dimiliki oleh USSPACECOM (United State Space Command), jumlah serpihan benda antariksa buatan manusia hingga saat ini mengalami lonjakan yang cukup drastis. Jumlah total serpihan yang berukuran diatas 10 cm mencapai 14.000 serpihan ; ukuran 1 – 10 cm mencapai 200.000 hingga 250.000 serpihan ; ukuran 0,1 – 1 cm mencapai 70 juta hingga 80 juta serpihan. Serpihan berukuran mikro atau dibawahnya diperkirakan mencapai orde  $10^{13}$  hingga  $10^{14}$  serpihan (<http://spacefellowship.com/News/?p=8204>). Lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 2-1.



Gambar 2-1 : Prakiraan jumlah serpihan benda antariksa

Distribusi serpihan menyebar di beberapa ketinggian orbit satelit diantaranya di orbit rendah bumi (73 %), di orbit geostasioner (8%), di orbit eksentrik (10%) dan lain-lain sebanyak 9%. Dari segi komposisi, serpihan berasal dari beberapa sumber diantaranya dari satelit (25%), pecahan badan roket (14%), obyek yang berkaitan dengan misi satelit (8%) dan dari serpihan-serpihan kecil sebanyak 53%. Dampak penembakan satelit Fengyun 1C menyebabkan populasi serpihan bertambah drastis dari 41 % menjadi 53%. Jumlah serpihan Fengyun 1C yang ada di orbit yang dapat diidentifikasi sekitar 2.318 buah. Penambahan populasi benda antariksa dapat dilihat pada Gambar 2-2. Pada tahun 2007 dan 2008 terjadi lonjakan drastis melalui penambahan serpihan dari peledakan satelit Fengyun 1C dan satelit USA-193 serta beberapa obyek lainnya (Klinkrad, 2009).



Gambar 2-2 : Populasi serpihan

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Simulasi Distribusi Flusks

Simulasi mengenai distribusi populasi dan probabilitas tubrukan serpihan benda antariksa pada satelit LAPAN TUBSAT dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Master 2005 ([www.master-2005.net](http://www.master-2005.net)). Simulasi dilakukan dengan menggunakan data orbit satelit LAPAN TUBSAT pada Gambar 3-1 dari tahun 2007 saat satelit LAPAN TUBSAT mulai beroperasi hingga akhir bulan Desember tahun 2009.

Dalam simulasi, semua serpihan yang berasal dari berbagai sumber selain mikrometeoroid di simulasikan dengan rentang ukuran serpihan dari 0,1 cm – 10 m. Informasi konstelasi obyek pada orbit satelit ini dapat dilihat pada Gambar 3-2. Informasi ini berguna untuk melihat obyek apa saja pada orbit tersebut yang berpotensi menghasilkan tubrukan dengan satelit LAPAN TUBSAT.

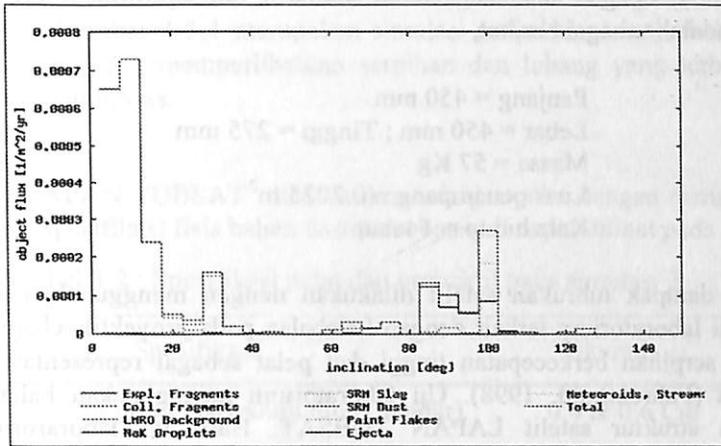


Gambar 3-1 : Simulasi distribusi debris di orbit satelit LAPAN TUBSAT

Galileo	Switch (on/off)	indicates: whether constellation will be used
LAPAN TUBSAT		name of the constellation (max 12 char.)
1		number of orbit planes
1		number of spacecraft per orbit plane incl. spares
620.0		perigee altitude [km]
637.0		apogee altitude [km]
97.83		orbit inclination [deg]
128.923		right ascension of ascending node of plane # 1 [deg]
239.0854		argument of perigee of plane # 1 [deg]
57.0		spacecraft mass [kg]
0.2025		spacecraft area [m <sup>2</sup> ]
1.0		spacecraft operational lifetime [yr]
0.01		percentage of total number of s/c failing per year [%/yr]
5		number of spacecraft launched per installation launch
0		number of spacecraft launched per sustaining launch
0		spacecraft mitigation (0 = no deorbiting, 1 = deorbit)
0		installation launch vehicle mitigation (0 = no deorbiting, 1 = deorbit)
0		sustaining launch vehicle mitigation (0 = no deorbiting, 1 = deorbit)
01/2007		date of first launch [mm/yyyy]
01/2007		date of begin of operation [mm/yyyy]
10		lifetime of total constellation [yr]

Gambar 3-2 : Informasi konstelasi obyek pada orbit LAPAN TUBSAT

Dari hasil simulasi dengan menggunakan Master 2005, maka diperoleh distribusi obyek berdasarkan beberapa paramter orbit. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3-3.

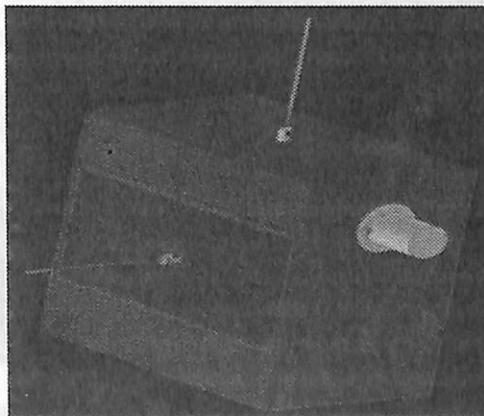


Gambar 3-3 : Distribusi fluks terhadap inklinasi

Pada Gambar 3.1-3 dapat dilihat bahwa distribusi fluks obyek pada inklinasi satelit LAPAN TUBSAT ( $i \approx 98^\circ$ ) memiliki orde  $10^{-4}/m^2$  per tahun dengan potensi tubrukan terbesar berasal dari serpihan-serpihan satelit pasif (fragments). Adapun distribusi fluks bila dilihat dari parameter sumbu semi mayor (*semi major axis*), maka fluks rata-rata memiliki orde  $10^{-4}/m^2$  per tahun.

### 3.2 Simulasi Dampak Tubrukan

Pada kasus satelit LAPAN TUBSAT, bila terjadi tubrukan dengan serpihan benda antariksa, maka besarnya dampak tubrukan ini dapat diperkirakan dengan menggunakan informasi dampak tubrukan pada satelit lain berbahan struktur identik dengan bahan struktur satelit LAPAN TUBSAT serta beberapa hasil percobaan tubrukan berkecepatan tinggi di laboratorium. Struktur satelit LAPAN TUBSAT dapat diliha pada Gambar 3-4.



Gambar 3-4 : Satelit LAPAN TUBSAT

Struktur satelit LAPAN TUBSAT dibuat dari bahan aluminium campuran (aluminium alloy) dengan ketebalan bahan sekitar 1 cm. Spesifikasi struktur satelit ini secara umum adalah sebagai berikut,

Panjang = 450 mm  
 Lebar = 450 mm ; Tinggi = 275 mm  
 Massa = 57 Kg  
 Luas penampang = 0.2025 m<sup>2</sup>  
 Kala hidup = 1 tahun

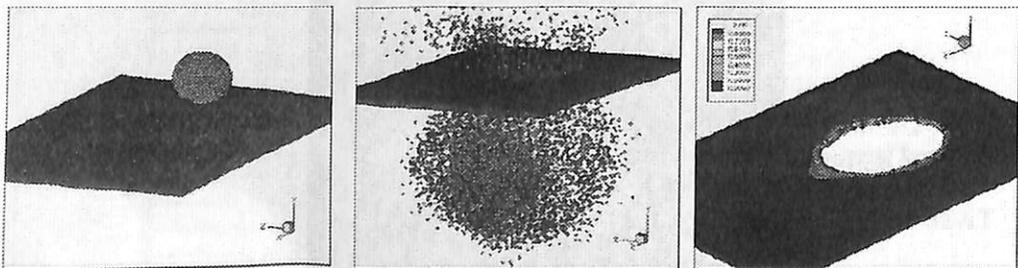
Simulasi dampak tubrukan satelit dilakukan dengan menggunakan asumsi-asumsi berdasarkan uji laboratorium terkait dengan ketebalan pada proyektil sebagai representasi dari tubrukan serpihan berkecepatan tinggi dan pelat sebagai representasi dari dimensi struktur satelit (Fahrenthold, 1998). Uji laboratorium menggunakan bahan yang sama dengan bahan struktur satelit LAPAN TUBSAT. Hasil uji laboratorium berbahan aluminium campuran ini dapat dilihat sebagai berikut.

#### Simulasi 1

Struktur satelit LAPAN TUBSAT berbahan dasar aluminium (diasumsikan sebagai pelat) dengan satu lapisan selubung. Spesifikasi fisis bahan dari percobaan ini dapat dilihat pada Tabel 3-1.

Tabel 3-1 : Spesifikasi pelat dan proyektil pada simulasi 1

Spesifikasi	Ukuran
Diameter proyektil (Aluminium bundar)	0,953 Cm
Ketebalan pelat (Aluminium)	0,1143 Cm
Kecepatan tubrukan	6,56 Km/s
Kemiringan tubrukan	45 deg
Jumlah serpihan	33.146
Total waktu simulasi	6,6 $\mu$ s



Gambar 3-5 : Simulasi tubrukan proyektil bundar

Dalam simulasi, proyektil berbentuk bundar menubruk pelat datar dengan kecepatan 6,56 km/s pada kemiringan tertentu. Tubrukan ini menghasilkan lubang seperti yang terlihat pada Gambar 3-5. Gambar 3-5-1 merupakan simulasi proyektil sesaat sebelum tubrukan. Gambar 3-5-2 dan 3-5-3 memperlihatkan serpihan dan lubang yang terbentuk setelah tubrukan dalam waktu 6,6  $\mu$ s.

### Simulasi 2

Struktur satelit LAPAN TUBSAT diasumsikan sebagai pelat dengan menggunakan dua lapisan selubung. Spesifikasi fisis bahan dari percobaan ini dapat dilihat pada Tabel 3-2.

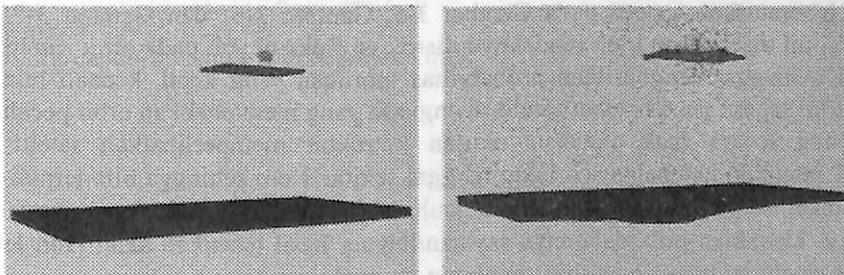
Tabel 3-2 : Spesifikasi pelat dan proyektil pada simulasi 2

Spesifikasi	Ukuran
Diameter proyektil (Aluminium bundar)	0,4 & 0,6 Cm
Ketebalan selubung 1 (Aluminium)	0,127 Cm
Ketebalan selubung 2 (Aluminium)	0,3175 Cm
Jarak antar selubung	5 Cm
Kecepatan tubrukan	7 Km/s
Kemiringan tubrukan	15 deg
Jumlah serpihan	109.000
Total waktu simulasi	54 $\mu$ s

Dalam simulasi 2 terdapat dua kasus berdasarkan dimensi proyektil yang menubruk pelat. Perbedaan dimensi proyektil menghasilkan jumlah serpiha yang berbeda.

### *Kasus 1*

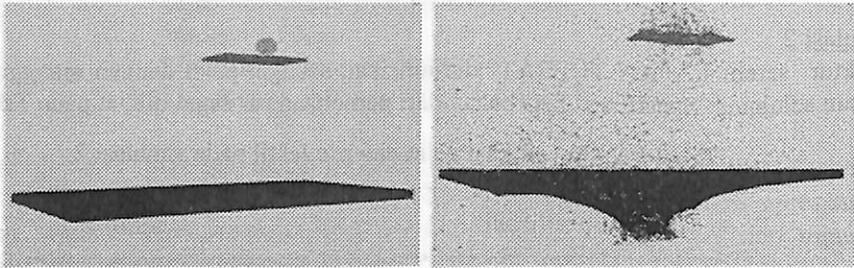
Pada kasus pertama, proyektil bundar memiliki diameter 0,4 cm. Tubrukan yang terjadi menyebabkan rusaknya selubung 1, tapi tidak menembus selubung 2. Kerusakan terjadi dalam waktu 54  $\mu$ s. Gambaran tubrukan diperlihatkan pada Gambar 3-6.



Gambar 3-6 : Tubrukan proyektil bundar 0,4 cm

### Kasus 2

Pada kasus kedua, proyektil bundar memiliki diameter 0,6 cm. Tubrukan yang terjadi menyebabkan rusaknya kedua selubung (selubung 1 dan selubung 2) dalam waktu 54  $\mu$ s. Simulasi tubrukan diperlihatkan pada Gambar 3-7.



Gambar 3-7 : Tubrukan proyektil bundar 0,6 cm

Serpihan benda (*debris*) antariksa bergerak dengan kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan satelit yang masih aktif sehingga bila terjadi tubrukan akan menimbulkan kerusakan pada struktur luar satelit. Pada ketinggian orbit rendah kecepatan rata-rata tubrukan dapat mencapai 10 km/detik yang berarti serpihan yang sangat kecil dapat memiliki energi kinetik dan momentum yang sangat besar. Bahan (material) aluminium berbentuk bundar yang berdiameter 1,3 mm di angkasa dapat menyebabkan kerusakan setara kerusakan yang di timbulkan oleh sebuah peluru senapan kaliber 0,22 ([www.aero.org/capabilities/cords/debris-risks.html](http://www.aero.org/capabilities/cords/debris-risks.html)). Sebagai ilustrasi bahwa peluru kaliber 0,22 ini memiliki kecepatan sekitar 519 m/detik dan dapat menimbulkan kerusakan yang cukup parah. Demikian juga aluminium bundar berdiameter 1 cm, memiliki daya kerusakan setara dengan bom berdaya 400 lb (181 kg) yang bergerak dengan kecepatan 60 m/jam, sedangkan serpihan berdiameter 10 cm setara dengan daya ledakan dari 25 batang dinamit.

Pada simulasi tubrukan benda berkecepatan tinggi yang dilakukan di laboratorium (Fahrenthold, 1998), ukuran proyektil dan pelat mempengaruhi jumlah serpihan dan tingkat kerusakan yang dihasilkan. Berdasarkan hasil simulasi, dapat ditarik suatu analisis bahwa bila terjadi tubrukan antara serpihan benda buatan manusia di antariksa dengan satelit LAPAN TUBSAT, maka dampak yang akan ditimbulkan lebih kecil dibandingkan hasil coba uji laboratorium seperti pada Gambar 3-5, Gambar 3-6 dan Gambar 3-7 (Ahmad, 2008). Hal ini disebabkan oleh rendahnya distribusi fluks obyek pada orbit satelit LAPAN TUBSAT sehingga menghasilkan probabilitas tubrukan yang kecil, kecuali bila terdapat kasus ekstrim seperti penempatan satelit di angkasa yang menyebabkan orbit pecahan satelit menyimpang secara acak. Analisis ukuran struktur memperlihatkan satelit LAPAN TUBSAT memiliki ketebalan selubung tunggal sekitar 1 cm sehingga bila terjadi tubrukan maka jumlah serpihan yang dihasilkan jauh lebih kecil dibandingkan simulasi 1 dan simulasi 2. Demikian pula dalamnya sayatan/lubang hasil tubrukan akan jauh lebih kecil meskipun satelit ini hanya memiliki selubung tunggal.

#### 4. Kesimpulan

Kemungkinan terjadinya tubrukan bila dilihat dari distribusi fluks dengan menggunakan Master 2005 bernilai kecil. Namun prakiraan ini bersifat tidak pasti karena ditemukan beberapa kasus yang probabilitas tubrukannya sangat kecil namun dalam kenyataannya dapat terjadi tubrukan antar benda antariksa. Hal ini biasanya terjadi pada kondisi ekstrim yang salah satunya berasal dari penembakan satelit di angkasa yang menghasilkan serpihan dalam jumlah banyak dengan berbagai ukuran sehingga menyebabkan serpihan menyebar secara acak dan susah diidentifikasi lintasannya. Meskipun probabilitas tubrukan pada satelit LAPAN TUBSAT kecil, namun perlu dilakukan analisis dampaknya bila terjadi tubrukan pada struktur satelit melalui kajian dan analisis terhadap simulasi tubrukan benda berbahan aluminium berkecepatan tinggi di laboratorium. Berdasarkan kajian dan analisis diperoleh informasi bahwa satelit LAPAN TUBSAT dengan ketebalan struktur 1 cm dan berdimensi kotak cukup kuat setidaknya buat saat ini dari kerusakan akibat tubrukan serpihan benda antariksa yang berukuran 0,4 - 0,9 cm dengan kecepatan tubrukan sekitar 6,5 - 7 km/s berbahan aluminium. Namun dengan kecenderungan populasi serpihan benda antariksa yang semakin meningkat, maka sebagai upaya mitigasi perlu adanya modifikasi pada sistem selubung satelit dari selubung tunggal menjadi selubung ganda terutama dapat dilakukan untuk generasi satelit mendatang.

#### Daftar Pustaka :

- Ahmad, N (2008), *Simulasi Sistem Proteksi Satelit Indonesia*, Laporan Program Inhouse Bidang Mutsa, Pusfatsainsa LAPAN, Bandung
- Belk, C.A and Robinson, J.H (1997), *Meteoroids and Orbital Debris : Effects on Spacecraft*, NASA reference publication 1408.
- Fahrenthold, E.P (1998), *Example Simulation Using the Hypervelocity Impact Code*, EXOS, university of Texas
- Klinkard, H (2009), *Space debris Mitigation Activities at ESA*, UNCOUOS STSC, ESA Space Debris Office.

#### Internet :

- <http://spacefellowship.com/News/?p=8204>
- [www.master-2005.net](http://www.master-2005.net)
- [www.aero.org/capabilities/cords/debris-risks.html](http://www.aero.org/capabilities/cords/debris-risks.html)