

**ANALYSIS OF THE EFFECTS OF VARIOUS MEMBRANE MATERIALS
ON DRAG SAIL DEPLOYMENT AND ORBITAL DECAY
DEMONSTRATION OF A CUBESAT WITH A DRAG SAIL DEVICE**

UNDERGRADUATE THESIS

Submitted as a partial fulfillment for the degree of Sarjana Teknik from Institut Teknologi
Bandung

By
Nexa Fyorelli
13619101

Advisors
Dr.Eng. Ridanto Eko Poetro ST., MSc.
Toto Indriyanto, Ph.D



**Undergraduate Program in Aerospace Engineering
Faculty of Mechanical and Aerospace Engineering
Institut Teknologi Bandung**

2023

ORIGINALITY REPORT

APPROVAL PAGE

Undergraduate Thesis

ANALYSIS OF THE EFFECTS OF VARIOUS MEMBRANE MATERIALS ON DRAG SAIL DEPLOYMENT AND ORBITAL DECAY DEMONSTRATION OF A CUBESAT WITH A DRAG SAIL DEVICE

Submitted by

Nexa Fyorelli

13619101

Approved by

Advisors



Dr.Eng. Ridanto Eko Poetro ST., MSc.



Toto Indriyanto, Ph.D

ABSTRACT

With the ever-progressive growth of the space industry, governmental space agencies and private spaceflight companies alike are bound to launch more objects into space. A lot of these missions are carried out on particular orbits around earth and after the completion of their mission's timeframe, they are abandoned in orbit and are considered as space debris or space junk. The inevitable accumulation of space debris that occupies valuable orbit space around earth is certainly not desirable as it might repress the launch of future space missions. The threat of space debris collision can lead to further catastrophic events like what is described in the Kessler syndrome (A single collision exponentially increases the amount of space debris which might trigger cascading effects of more collisions and disrupt the whole orbit environment at once).

Naturally, space debris will de-orbit gradually until it burns during atmospheric re-entry. However, this process takes years and even centuries for objects at higher altitudes. Many international space agencies such as the National Aeronautics and Space Administration (NASA) and the Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC) are alarmed by Kessler's nightmare scenario and are actively contributing to the curtailment of space debris through active debris removal and debris mitigation strategies.

A debris mitigation strategy that has caught the attention of the space industry in recent years is the installation of a deployable membrane structure on spacecraft. This membrane structure will act as a drag sail which increases the effective drag area that acts on the aircraft upon deployment. This increase in surface area significantly decreases the ballistic coefficient of the spacecraft, thus shortening its de-orbiting period due to larger atmospheric drag acting on the spacecraft. However, it is difficult to perform tests and experiments on such mechanisms since it will require the tests to be done on real space missions.

To overcome this handicap, simulations using numerical analysis are done for its deployment and how it affects the satellite's orbit. The model that will be tested in this thesis is a smaller model compared to already existing structures and it will be meant for CubeSat projects. The model will be tested in terms of its deployment with varying parameters, including material, compression stiffness ratio, and contact coefficient. The desired output of this research is to find the most suitable material and the most realistic simulation sensitivity parameters (compression stiffness ratio and contact coefficient) for the deployment of the structure. It is also within the aims of this thesis to find a suitable Young's modulus range for the membrane structure materials such

that future material assessment can be done within said range. After finding the best parameters for the deployment of the sail, its effectiveness as a debris mitigation strategy is evaluated by verifying the orbit life of a CubeSat if it is equipped with the drag sail in question. This orbit analysis is carried out in GMAT.

ABSTRAK

Dengan berkembangnya industri keantariksaan, lembaga antariksa pemerintah dan perusahaan antariksa swasta akan berbondong-bondong menerbangkan wahana antariksa ke luar angkasa. Misi antariksa yang bersangkutan dengan wahana-wahana tersebut tentunya akan menduduki suatu orbit dan setelah siklus misi tersebut selesai, wahana dibiarkan di orbit dan menjadi puing-puing luar angkasa. Tentunya akumulasi puing-puing ini sangat tidak diinginkan karena dianggap memenuhi ruang orbit yang berharga dan merintangi peluncuran untuk misi-misi yang akan datang. Ditambah lagi, ancaman dari puing-puing yang bertabrakan dapat mengakibatkan malapetaka seperti yang diungkit di teori *Kessler syndrome* yang mengatakan bahwa terjadinya suatu tabrakan akan memecah belahkan puing-puing yang bertabrakan sehingga menghasilkan lebih banyak puing-puing dan menimbulkan efek mengalir yang dapat menyebabkan lebih banyak tabrakan. Hal ini tentunya akan mengganggu lingkungan di orbit secara menyeluruh.

Pasalnya, puing-puing luar angkasa akan mengalami peluruhan orbit hingga akhirnya tercerai-berai akibat *atmospheric re-entry*. Namun, proses ini membutuhkan waktu yang sangat lama hingga bertahun-tahun dan bahkan berabad-abad untuk wahana yang ditempatkan di orbit tinggi. Lembaga-lembaga antariksa internasional seperti National Aeronautics and Space Administration (NASA) dan Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC) pun turut khawatir oleh skenario yang dirujuk oleh Kessler. Melihat urgensi dari isu ini, lembaga-lembaga tersebut berkontribusi secara aktif ke pengurangan puing-puing luar angkasa dengan menekankan strategi-strategi mitigasi dari puing-puing tersebut.

Salah satu strategi yang diunggulkan adalah untuk menyertakan struktur membran yang bisa dikemas dan dibuka kepada wahana-wahana antariksa. Ketika dibuka, struktur membran ini akan bekerja sebagai *drag sail* yang akan memperbesar luas drag efektif yang bekerja pada suatu wahana. Karena luasnya membesar, koefisien balistik dari wahana tersebut pun akan menurun sehingga peluruhan orbit bisa dipercepat akibat lebih banyaknya drag yang bekerja pada wahana tersebut. Namun, melakukan eksperimen atau menguji mekanisme seperti ini cukup sulit karena mekanisme seperti ini harus langsung diuji di orbit.

Untuk menghadapi rintangan ini, analisis numerik bisa dilakukan untuk pembukaan *drag sail* dengan bantuan platform simulasi. Jalur orbit dari satelit yang sedang dianalisa juga bisa disimulasi. Model *drag sail* yang digunakan di tugas akhir ini merupakan *drag sail* yang umumnya lebih kecil daripada model-model sudah ada sebelumnya dan penggunaannya khusus untuk *CubeSat*. Simulasi pembukaan *drag sail* akan dievaluasi untuk parameter yang beragam, antara lain material, sensitivitas simulasi (rasio kekakuan kompresi atau *compression stiffness ratio* dan koefisien kontak atau *contact coefficient*), dan modulus Young. Yang diharapkan dari tugas akhir ini adalah untuk menemukan material paling cocok untuk struktur membran serta sensitivitas simulasi yang paling sesuai. Selain itu, efektivitas dari *drag sail* sebagai strategi mitigasi puing-puing akan dievaluasi di platform GMAT dengan mengamati *orbit life* dari *CubeSat* apabila *drag sail* dibuka.