



Pemodelan dan Analisis Propulsi Roket Peluncur Wahana Antariksa Berbasis 3D *Printing* dan Software *OpenRocket*

Modeling and Analysis Of Space Launch Vehicle Rocket Propulsion Using 3D Printing and OpenRocket Software

Arnetha Florencia Syaranamual^{1*}, Bondhan Firmanto²

^{1,2} Program Studi Teknik Aeronautika Pertahanan, Akademi Angkatan Udara
E-mail: arnethaflorencia@gmail.com

Abstract— *Spacecraft launch vehicles are vehicles designed to transport payloads such as satellites, spacecraft, or astronauts from the Earth's surface into space. Openrocket software is one of the software programs that can be used to design and simulate rocket launches. This study aims to determine the basic propulsion characteristics of rockets in terms of altitude, thrust, and vertical velocity of rockets designed using OpenRocket software. This study was conducted by creating ten rocket models with variations in fin shape using OpenRocket software and then simulating them. Based on the simulation results and analysis, rocket model number eight was considered the most superior model among the other rocket models. This can be seen from the fact that rocket model number eight had the highest maximum acceleration (12784 m/s²), reached an altitude of 407 m, and had a fairly long flight time (30.1 s). The fin shape of rocket model number eight was able to maximize thrust and flight stability without losing vertical velocity and produced the best performance from the data generated.*

Keywords— *Spacecraft launch vehicle, basic rocket propulsion, fin variations.*

Abstrak— *Roket peluncur wahana antariksa adalah kendaraan yang dirancang untuk mengangkut muatan seperti satelit, wahana antariksa atau astronaut dari permukaan bumi ke luar angkasa. Software openrocket merupakan salah satu software yang dapat digunakan untuk mendesain dan mensimulasikan peluncuran roket. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik propulsi dasar roket dalam hal ini altitude, thrust dan vertical velocity dari roket yang didesain menggunakan software openrocket. Penelitian ini dilakukan dengan membuat sepuluh model roket dengan variasi pada bentuk fin menggunakan software openrocket kemudian disimulasikan. Berdasarkan hasil simulasi dan analisis model roket nomor delapan adalah model roket yang dinilai paling unggul dari model roket lainnya. Hal ini dapat dilihat dari model roket nomor delapan memiliki maksimum akselerasi tertinggi (12784 m/s²), altitude mencapai 407 m dan flight time yang cukup panjang (30,1 s). Bentuk fin dari model roket nomor delapan mampu memaksimalkan thrust dan stabilitas penerbangan tanpa kehilangan vertical velocity serta menghasilkan performa terbaik dari data yang dihasilkan.*

Kata Kunci— *Roket peluncur wahana antariksa, propulsi dasar roket, variasi fin.*

*Arnetha Florencia Syaranamual
E-mail: arnethaflorencia@gmail.com

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi Antariksa saat ini telah menjadi salah satu indikator kemajuan suatu negara. Perkembangan teknologi luar angkasa telah mengalami kemajuan yang pesat dalam beberapa dekade terakhir. Roket peluncur wahana Antariksa menjadi salah satu komponen kunci dalam eksplorasi luar angkasa baik itu misi ilmiah, pengiriman satelit maupun misi berawak. Propulsi roket merupakan aspek penting yang mempengaruhi keberhasilan peluncuran dan misi luar angkasa. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam tentang propulsi roket sangat diperlukan untuk merancang dan mengoptimalkan performa roket.

Roket peluncur wahana antariksa adalah kendaraan yang dirancang untuk mengangkut muatan seperti satelit, wahana antariksa, atau astronaut dari permukaan Bumi ke luar angkasa. Roket ini menggunakan prinsip aksi dan reaksi, di mana gas yang dikeluarkan dari mesin roket dengan kecepatan tinggi menghasilkan dorongan yang mendorong roket ke atas. Dalam konteks ini, pemodelan 3D dan analisis propulsi menjadi alat yang sangat berguna untuk mempelajari perilaku roket selama penerbangan. Dengan menggunakan *software OpenRocket*, para peneliti dapat melakukan simulasi yang akurat mengenai jalur terbang, gaya yang bekerja pada roket, serta efisiensi propulsi. *OpenRocket* adalah perangkat lunak *open-source* yang dirancang khusus untuk merancang dan menganalisis roket, sehingga memungkinkan pengguna untuk melakukan eksperimen virtual tanpa biaya yang tinggi.

Beberapa tantangan utama dalam studi analisis propulsi dasar roket adalah mengatasi berbagai faktor yang mempengaruhi kinerja roket, seperti gaya dorong, gaya gravitasi dan gaya hambat. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai propulsi roket peluncur wahana antariksa serta memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi roket di Indonesia. Penelitian ini juga bertujuan untuk memberikan rekomendasi desain yang lebih efisien dan efektif untuk roket peluncur yang pada gilirannya dapat mendukung misi luar angkasa di masa depan.

II. LANDASAN TEORI

A. Wahana Antariksa dan Wahana Peluncur Antariksa

Wahana Antariksa dan Wahana Peluncur Antariksa. Wahana Antariksa adalah benda buatan manusia yang terbang di Antariksa karena keseimbangan gaya atau momen inersia dan gravitasi yang ditimbulkan akibat pergerakannya di Antariksa. Wahana Antariksa terdiri dari wahana Antariksa yang dapat digunakan Kembali setelah digunakan seperti *SpaceX Dragon* dan yang hanya sekali pakai seperti *Soyuz*.

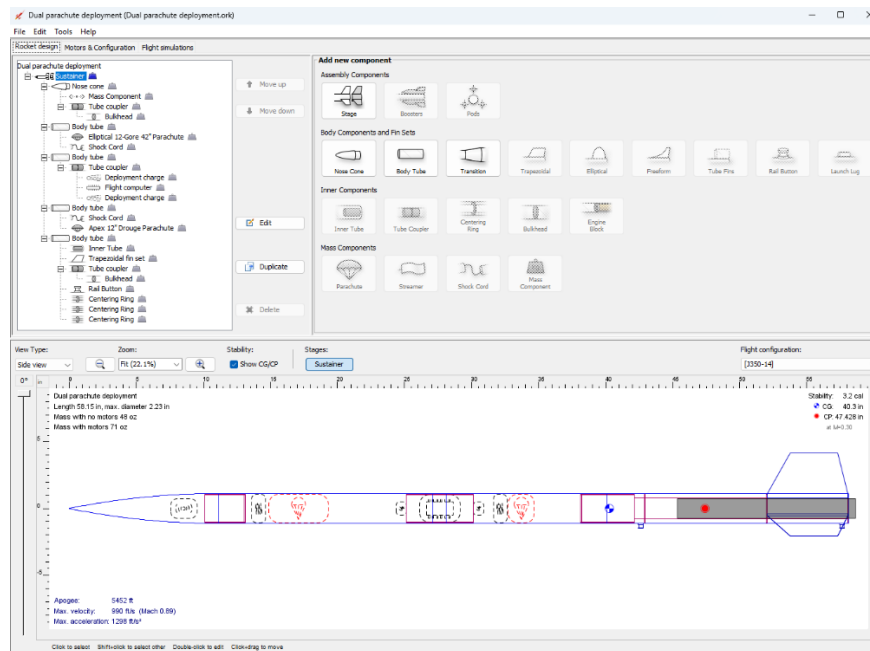
B. Roket

Roket merupakan wahana luar angkasa, peluru kendali atau kendaraan terbang yang mendapatkan dorongan melalui reaksi terhadap bahan fluida dari keluaran mesin roket. Nama roket berasal dari Bahasa Italia "*rocchetta*" yang artinya "sekring kecil" diciptakan oleh seorang ilmuwan Italia Ludovico Antonio Muratori pada tahun 1379. Roket menerapkan hukum pergerakan Newton 3 dimana aksi dari keluaran dalam ruang bakar dan *nozzle* pengembang mampu membuat gas mengalir dengan kecepatan hipersonik sehingga menimbulkan dorongan reaktif yang besar untuk roket.

C. Software OpenRocket

Software OpenRocket adalah perangkat lunak yang digunakan untuk mendesain dan melakukan simulasi terhadap roket yang dikembangkan oleh Sampo Niskanen pada tahun 2009.

Software *OpenRocket* dirancang untuk membantu para pengguna untuk merancang dan mensimulasikan kinerja roket sebelum membangun dan mengembangkannya. Rancangan model roket dapat dibuat mulai dari kepadatan material hingga kualitas lapisan luar model roket. Simulasi penerbangan roket juga dapat dilakukan dengan data kinerja seperti pusat tekanan, pusat gravitasi, ketinggian maksimum dan stabilitas roket. *Main Window Software OpenRocket* ditunjukkan seperti Gambar 1. di bawah ini.



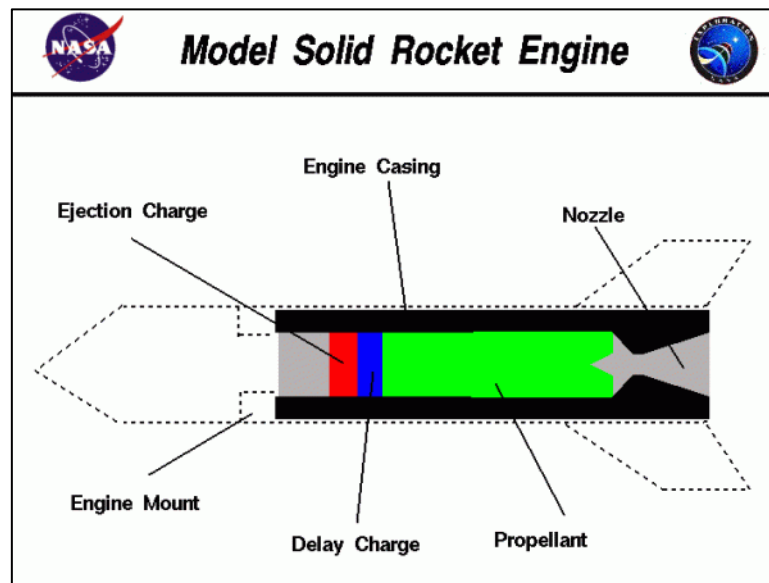
Gambar 1. *Main Window Software OpenRocket*

D. Prinsip Dasar 3D Printing dalam Pembuatan Roket

Dalam pembuatan roket terdapat beberapa prinsip dasar 3D *printing* yaitu *additive manufacturing*, material dan teknologi pencetakan. *Additive manufacturing* bertujuan alih-alih menghilangkan material *electron beam* seperti pada teknik manufaktur tradisional, 3D *printing* membangun komponen lapis demi lapis berdasarkan model digital. Dalam pengujian ini desain model 3D roket peluncur wahana antariksa akan dicetak menggunakan 3D *Printer Creality Ender 2 Pro*.

E. Pemodelan Roket

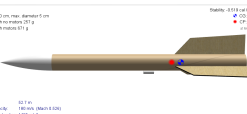
Pada umumnya mesin roket terbagi menjadi dua jenis yaitu roket cair dan roket padat. Dalam roket cair, bahan bakar dan sumber oksigen yang diperlukan untuk pembakaran disimpan secara terpisah dan dipompa ke dalam ruang pembakaran *nozzle* atau tempat terjadinya proses pembakaran. Dalam roket padat, bahan bakar dan sumber oksigen yang diperlukan untuk pembakaran dicampur menjadi propelan padat dan dikemas dalam silinder padat. Roket terdiri dari beberapa bagian, antara lain mesin roket, tangka propelan, pengendali atau ruang control, *payload* dan sirip. Adapun model *Solid Rocket Engine* ditunjukkan seperti pada Gambar2 berikut.

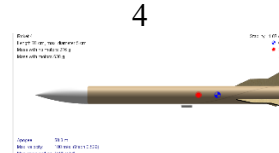
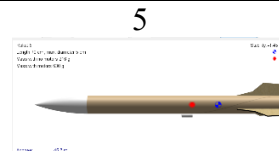
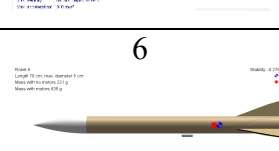
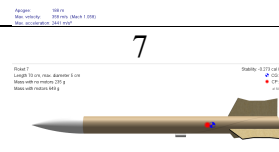
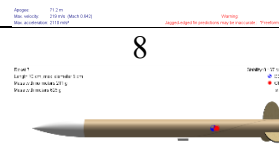


Gambar 2. Model Solid Rocket Engine

Salah satu contoh roket milik Indonesia Adalah roket RX-550. RX-550 adalah roket balistik yang dikembangkan oleh Indonesia melalui LAPAN dengan tujuan untuk kepentingan riset Antariksa dan potensi pertahanan nasional. Panjang total roket berkisar 7-10 m dengan diameter 550 mm. system propulsi dari roket tersebut menggunakan bahan bakar padat tipe *Hydroxyl Toluene Poly Butadiene* (HTPB) dengan kapasitas muatan hingga 300 kg. berikut perbandingan dat hasil simulasi roket seperti yang terlihat pada Tabel 1.

TABEL I
PERBANDINGAN DATA HASIL SIMULASI ROKET

Model Roket	Velocity off Rod (m/s)	Maximum Altitude (m)	Maximum Velocity	Maximum Acceleration (m/s ²)	Flight Time (s)	Keterangan
 Roket 1 Panjang 10 m, diam 550 mm Berat 300 kg Berat bahan bakar 250 kg Berat muatan 50 kg	31,2	55,8	186	1584	5,52	Apogee rendah dan akselerasi baik
 Roket 2 Panjang 10 m, diam 550 mm Berat 300 kg Berat bahan bakar 250 kg Berat muatan 50 kg	32,1	1697	601	596	164	Apogee tinggi, kecepatan bagus namun akselerasi rendah
 Roket 3 Panjang 10 m, diam 550 mm Berat 300 kg Berat bahan bakar 250 kg Berat muatan 50 kg	31,9	54,9	187	1602	5,09	Apogee rendah

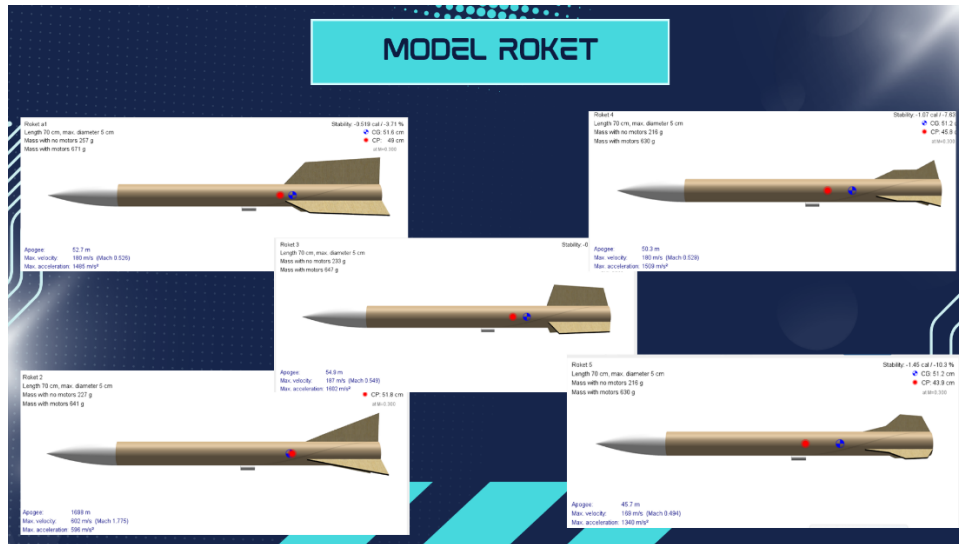
	32,4	50,3	180	1509	4,63	Apogee dan kecepatan rendah
	32,4	46	169	1359	4,42	Nilai terendah pada apogee dan kecepatan
	32,2	87,5	250	2722	7,61	Apogee dan akselerasi lebih tinggi
	31,8	75,3	223	2187	7,68	Kinerja baik
	32,6	407	534	12784	30,1	Akselerasi sangat tinggi, altitude baik dan flight time panjang
	32,8	1336	548	628	132	Apogee sangat tinggi, kecepatan baik dan akselerasi sedang
	32,8	44,1	163	1292	4,34	Angka terendah pada apogee dan flight time

III. METODE/MODEL YANG DIUSULKAN

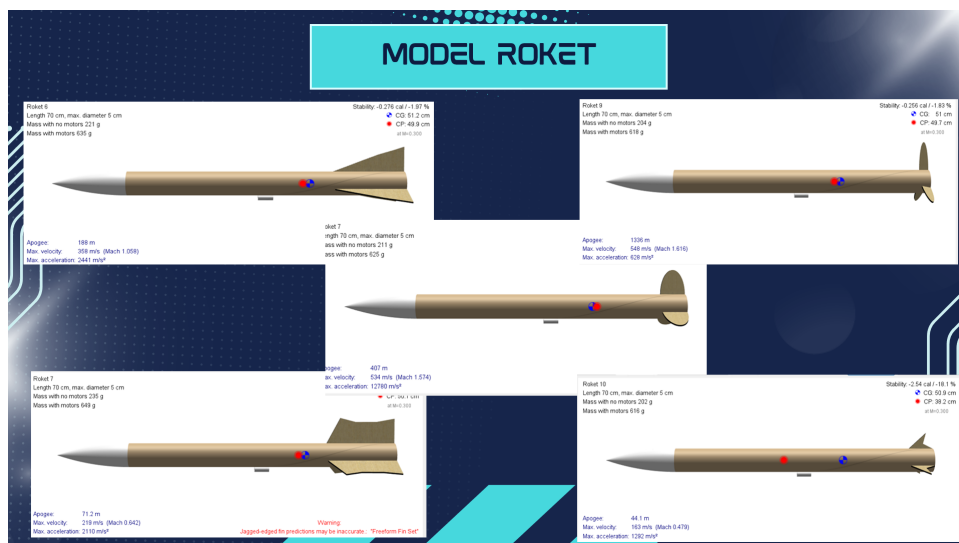
Bab ini berisikan diagram alir (*flowchart*) yang meliputi proses penelitian, uraian data secara rinci mengenai penelitian, variabel penelitian, alat atau instrumen untuk mengumpulkan data, prosedur pengambilan pengumpulan data dan cara analisis data dengan menggunakan *software OpenRocket*. Hasil desain berupa sepuluh model roket dengan variasi bentuk *fins* akan disimulasikan dan dianalisis karakteristik peluncuran roket dalam hal ini *altitude*, *maximum acceleration* dan *vertical velocity*. Penjelasan singkat mengenai tahapan penelitian yang dilaksanakan adalah sebagai berikut :

1. Pada tahap awal adalah mencari materi yang berhubungan dengan tugas akhir dengan judul dan materi yang telah ditentukan yaitu mencari informasi mengenai pemodelan roket peluncur wahana antariksa.

2. Selanjutnya adalah pembuatan sepuluh model roket menggunakan *software OpenRocket* dengan variasi bentuk *fins* kemudian disimulasikan dan dianalisis. Dari hasil simulasi dan analisis dapat diketahui desain roket dengan bentuk *fins* yang dianggap paling unggul karakteristik penerbangannya. Berikut model roket yang dimaksud seperti pada Gambar 3. dan Gambar 4.



Gambar 3. Model Roket 1-5

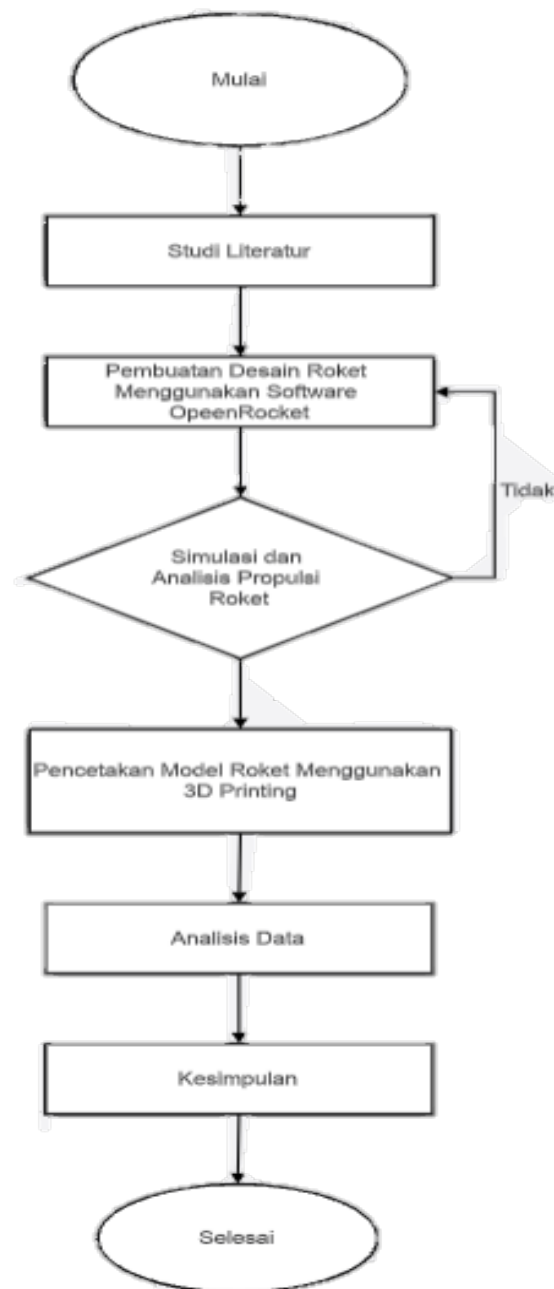


Gambar 4. Model Roket 6-10

3. Sepuluh model roket yang telah dibuat kemudian disimulasikan menggunakan *software openrocket* dengan pengaturan awal simulasi yang sama serta model motor roket yang digunakan juga sama. Dari hasil simulasi diperoleh nilai *maximum altitude*, *maximum acceleration* dan *vertical velocity* dari sepuluh model roket tersebut.
4. Hasil simulasi dan pengujian didapat hasil sebagai berikut :

- a. Model roket nomor dua merupakan model roket yang dinilai paling unggul dibanding model roket lainnya. Hal ini dilihat dari model roket nomor dua memiliki *maximum altitude* tertinggi (1697 m), *maximum velocity* mencapai 601 m/s dan *flight time* yang cukup panjang (164 s).
- b. Model roket nomor sepuluh merupakan model roket yang dinilai memiliki karakteristik yang paling rendah dibanding model roket lainnya. Hal ini dapat dilihat dari model roket nomor sepuluh memiliki *maximum altitude* terendah (44,1 m) dan *maximum velocity* yang rendah (163 m/s) serta *flight time* yang cukup singkat yaitu 4,34 s.

Diagram alir penyusun penelitian ini digambarkan pada gambar dibawah ini



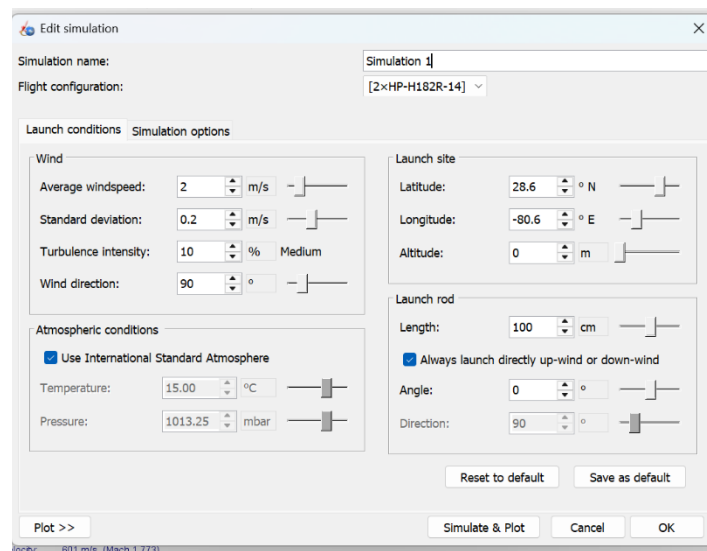
IV. HASIL/IMPLEMENTASI MODEL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian

Berikut ini merupakan proses dari simulasi dan pengujian sepuluh model roket dengan variasi bentuk *fins*. Setelah diasumsikan dengan berbagai parameter dan perumusan masalah yang sudah ditentukan maka diperoleh data-data pengujian. Analisis ini berfokus pada pengaruh variasi bentuk *fins* terhadap karakteristik peluncuran roket dalam hal ini *maximum altitude*, *maximum acceleration* dan *vertical velocity*.

B. Pembahasan

Data-data yang diperlukan untuk melakukan simulasi peluncuran roket pada *software openrocket* adalah seperti pada Gambar 5. Berikut.



Gambar 5. Pengaturan Awal Simulasi

TABEL II
URUTAN HASIL SIMULASI ROKET

Peringkat	Model Roket	Skor AHP	Keterangan
1	2	0.808	Altitude & flight time tertinggi, meski akselerasi rendah
2	9	0.667	Altitude tinggi, kecepatan bagus
3	8	0.485	Akselerasi sangat tinggi dan flight time panjang

4	6	0.164	Akselerasi dan kecepatan menengah
5	7	0.147	Kinerja cukup stabil
6	1	0.122	Apogee rendah namun stabil
7	3	0.122	Apogee rendah namun stabil
8	4	0.119	Altitude rendah
9	5	0.113	Performa paling rendah
10	10	0.109	Semua nilai relatif rendah

Berdasarkan hasil simulasi dan pengujian yang disajikan dalam bentuk tabel II dan grafik, kita dapat melakukan analisis tentang pengaruh variasi bentuk *fins* dalam peluncuran roket, yaitu perbedaan bentuk *fins* akan berpengaruh terhadap karakteristik peluncuran roket tersebut dalam hal ini *altitude*, *maximum acceleration* dan *vertical velocity* roket. Berdasarkan data tersebut roket yang dinilai paling unggul yaitu roket yang memiliki ketinggian maksimum tertinggi, kecepatan maksimum yang tinggi namun roket tetap stabil serta waktu penerbangan yang panjang. Sebaliknya roket yang nilai kurang unggul yaitu roket yang memiliki ketinggian maksimum dan performa terendah. Penilaian performa roket lebih berfokus terhadap ketinggian maksimum (*apogee*) dan *flight time* yang dapat dicapai roket. Performa optimum dapat dicapai roket jika orientasi *thrust* dan aerodinamika *fins* serta distribusi masa roket seimbang. Jadi berdasarkan perhitungan metode AHP dapat disimpulkan bahwa model roket nomor dua merupakan model roket yang dinilai unggul sedangkan model roket nomor sepuluh merupakan model roket yang dinilai kurang unggul dibanding model roket yang lainnya.

V. KESIMPULAN

Proses simulasi dan pengujian sepuluh model roket pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik propulsi dasar dari sepuluh model roket tersebut dan pengaruh variasi bentuk *fins* terhadap karakteristik penerbangan roket serta pencetakan *prototype* model roket yang dinilai paling unggul dimana model roket dengan *fins* yang aerodinamis mampu menunjukkan akselerasi tertinggi, *altitude* yang optimal dan durasi waktu penerbangan yang lama. Pencetakan dilakukan menggunakan teknologi 3D *Printing*. Komponen penting yang harus diperhatikan dalam pemodelan roket menggunakan *software OpenRocket* diantaranya yaitu desain bentuk roket terutama pada bentuk *fins*, pengaturan awal lingkungan simulasi dan parameter motor roket yang akan digunakan roket tersebut. Parameter propulsi dasar yang diperoleh dari hasil simulasi dan pengujian sepuluh model roket antara lain nilai *maximum acceleration*, *maximum altitude (apogee)* dan *vertical velocity*. *Thrust* yang dihasilkan roket akan sama jika model motor roket yang digunakan juga sama. Variasi bentuk *fins* sangat berpengaruh terhadap karakteristik peluncuran roket. Bentuk *fins* yang aerodinamis dapat meningkatkan stabilitas roket dan meminimalkan *drag* sehingga roket dapat mencapai *maximum altitude* yang lebih tinggi dengan mempertahankan *vertical velocity* yang stabil.

REFERENSI

- [1] Niskanen, S. (2009). OpenRocket: Software untuk Desain dan Simulasi Roket. Open Source Project
 - [2] Prusa Research. (2023). Prusaslicer: Software Slicer untuk Pencetakan 3D. Prusa Research Official Documentation
 - [3] National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2022). Rocket Propulsion Fundamentals and Design Considerations. NASA Technical Reports
 - [4] Creality. (2024). Creality Ender 2 Pro: Spesifikasi dan Panduan Penggunaan Printer 3D untuk Prototyping. Creality Product Manuals
 - [5] Al-Mansoori, K. A. H., & Al-Sharif, M. A. S. 2020, Design and Development of Reusable Spacecraft: A Review, *Journal of Aerospace Engineering*, vol. 233, no. 1, pp. 1-15, dilihat 10 Oktober 2023.
 - [6] LAPAN. (2020). Roket RX-550: Pengembangan Roket Balistik untuk Riset Antariksa dan Pertahanan Nasional. LAPAN Research Journal
-