

## ANALISIS AERODINAMIKA PADA SIRIP LIPAT ROKET ARTILERI KALIBER 300 MM

- 1,3) Program Studi Teknologi  
Persenjataan, Univeritas  
Pertahanan Indonesia,  
Kawasan IPSC Sentul,  
Kabupaten Bogor 16810,  
Indonesia
- 2) Organisasi Riset  
Penerbangan dan  
Antariksa, Badan Riset  
dan Inovasi Nasional-  
BRIN, Rumpin,  
Kabupaten Bogor  
16350, Indonesia

Corresponding email <sup>1)</sup> :  
[ahmad.muslimin@tp.idu.ac.id](mailto:ahmad.muslimin@tp.idu.ac.id)

Received: 29.11.2022  
Accepted: 15.05.2023  
Published: 28.06.2023

©2023 Politala Press.  
All Rights Reserved.

**Ahmad Novi Muslimin <sup>1)</sup>, Robertus Heru Triharjanto <sup>2)</sup>,  
Yayat Ruyat <sup>3)</sup>**

**Abstrak.** Analisa aerodinamika bagian yang penting dalam proses desain roket. Pada penelitian ini, analisa dilakukan pada desain sirip roket artileri diameter 300 mm. Roket tersebut dikembangkan untuk mensubstitusi roket MLRS TNI AD, yang saat ini merupakan produk impor, sehingga geometri tabung peluncur MLRS menjadi batasan desain, dan sirip roket tersebut harus bisa dilipat sebelum peluncuran. Analisa aerodinamis dilakukan dengan aplikasi RASAero II, kecepatan terbang 2.0 Mach. Variasi dimensi sirip yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: panjang tepi depan dan belakang sirip dengan variasi ukuran 10, 30 dan 50 mm, tebal pangkal sirip dengan variasi ukuran 5, 10, dan 15 mm. Hasil simulasi menunjukkan sirip lipat ukuran 50T5R memiliki gaya hambat 145 N dan gaya angkat 1081 N merupakan sirip yang memiliki desain optimal. Berdasarkan analisa frekuensi natural, sirip dengan ukuran 10T5R, 10T10R, 30T5R, 30T10R, 50T5R, dan 50T10R merupakan sirip yang memiliki nilai struktur yang aman dari terjadinya resonansi getaran.  
**Kata Kunci:** Aerodinamika, Desain sirip, Gaya hambat, Gaya angkat, Frekuensi natural.

**Abstract.** Aerodynamic analysis is an important part of the rocket design process. In this study, the analysis was carried out on the design of the 300 mm diameters artillery rocket fins. The rocket was developed to replace the TNI AD MLRS rocket, which is currently an imported product, so the geometry of the MLRS launch tube is a design limitation, and the rocket fins must be able to fold before launch. Aerodynamic analysis was carried out using the RASAero II flight speed Mach 2.0 application. Variations in the dimensions of the fins used in this study were: the length of the front and rear edges of the fins with variations in the size of 10, 30, and 50 mm, the thickness of the base of the fins with variations in the size of 5, 10 and 15 mm. The simulation results show that the folding fin size 50T5R has a drag force of 145 N and a lifting force of 1081 N, a fin with an optimal design. Based on natural frequency analysis, fins with sizes 10T5R, 10T10R, 30T5R, 30T10R, 50T5R, and 50T10R are fins with structural values safe from vibrational resonance.  
**Keywords:** Aerodynamics, Fin design, Drag force, Lifting force, Natural frequency.

To cite this article: <https://doi.org/10.34128/je.v10i1.223>

### 1. Pendahuluan

Pengembangan kemandirian Industri Pertahanan telah dirumuskan dalam program prioritas kemandirian Industri Pertahanan yaitu, Pembangunan Kapal Selam, Industri Propelan, Pengembangan Roket Rudal, Radar Nasional, Medium Tank, dan Pesawat Tempur [1].

Pada saat ini, Tentara angkatan Darat Indonesia khususnya Divisi Artileri Medan Indonesia memiliki MLRS yang dapat meluncurkan bermacam-macam kaliber roket artileri. Menurut Global Fire Power, Indonesia

memiliki 63 unit MRLS, dan diantaranya berada di TNI-AD. MLRS Artileri Medan TNI-AD memiliki fungsi untuk sistem pertahanan pesisir. Salah satu jenis roket Artileri Medan TNI-AD mempunyai kaliber 300 mm dengan jarak tembak maksimal 80 km.

Karena merupakan produk impor, ketersediaan roket Artileri Medan TNI-AD tersebut jumlahnya masih terbatas. Adanya keberhasilan pengembangan RHan (roket pertahanan) -122B (kaliber 122 mm) oleh Konsorsium Roket Nasional [2], menunjukkan bahwa sangatlah memungkinkan untuk dilakukan substitusi import bagi roket Artileri Medan TNI-AD kaliber 300 mm, dengan mengembangkan RHan-300.

Pada roket, sirip memiliki fungsi sebagai penunjang kestabilan terbang. Semakin besar ukuran sirip maka kestabilan akan meningkat, akan tetapi massa sirip menjadi lebih besar, *drag* (gaya hambat) sirip semakin besar sehingga mengurangi jarak tembak dan akurasi tembak. Oleh karena itu, sirip yang baik adalah yang ukurannya cukup untuk menjaga kestabilan roket, namun massa dan drag namun dapat tetap [3]. Pemilihan massa bahan yang ringan dan kuat serta geometri yang sesuai sangat menentukan performa kerja sirip roket [4].

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisa aerodinamika gaya hambat (*drag*) dan gaya angkat (*lift*) dari sirip Artileri Kaliber 300 mm, serta analisa frekuensi natural yang dimiliki dalam setiap model yang dibuat. Tujuan utama dalam penelitian ini yaitu memperoleh desain optimal sirip roket pertahanan caliber 300 mm berdasarkan pada nilai gaya hambat, gaya angkat dan frekuensi natural sirip yang optimal secara desain.

Pembahasan yang pernah dilakukan adalah tentang analisis komputasi medan aliran di sekitar sirip lipat dengan metoda *finite element* [5], disertai juga pembahasan metode *finite element* dari struktur sirip untuk analisis aeroelastik [6], serta penggunaan metode *finite element* untuk studi parameter sirip lipat roket pada aliran supersonik dan menentukan karakteristik aerodinamisnya [7]. Oleh karena itu, dalam penelitian ini analisa aerodinamis dilakukan dengan menggunakan analisa komputasi dan pendekatan *finite element* untuk analisa frekuensi natural.

## 2. Metodologi Penelitian

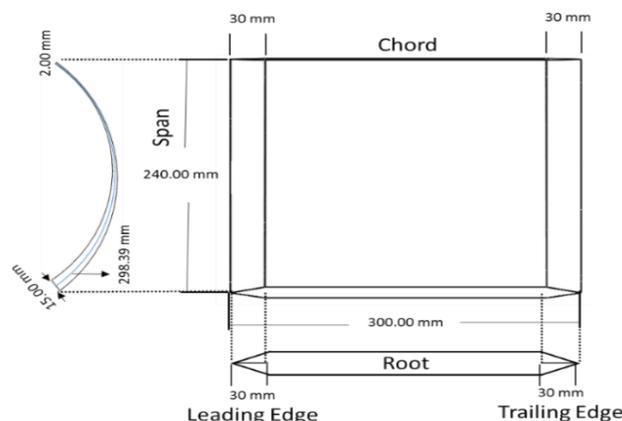
Dalam penelitian ini dilakukan penentuan beberapa parameter pengukuran awal sebagai data penunjang untuk dilakukannya analisa aerodinamika pada sirip lipat roket artileri kaliber 300.

### Dimensi dan Material Sirip

Pada penelitian ini ditentukan beberapa parameter pengukuran awal sebagai data pendukung untuk optimasi sirip R-Han 300. Desain awal sirip diperoleh dari pengukuran dimensi sirip roket kaliber 300 mm milik Pusat Kesenjataan Artileri Medan TNI Angkatan Darat. Desain awal sirip roket kaliber 300 mm yang digunakan pada penelitian ini memiliki dimensi seperti pada Tabel 1 berikut.

**Tabel 1.** Dimensi sirip lipat roket artileri TNI AD kaliber 300 mm.

No	Part	Ukuran (mm)
1	Span	$240 \pm 0.1$
2	Chord	$2 \pm 0.1$
3	Root	$15 \pm 0.1$
4	Trailing Edge (tepi depan)	$30 \pm 0.1$
5	Leading Edge (tepi belakang)	$30 \pm 0.1$



**Gambar 1.** Konfigurasi dimensi sirip lipat roket artileri TNI AD kaliber 300 mm

Modifikasi dimensi yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu dengan mengoptimasikan ukuran *Leading Edge* dan *Trailing Edge* yang menyesuaikan dengan variasi ukuran sebesar 10 mm, 30 mm dan 50 mm. Pemilihan

dimensi terkecil 10 mm, digunakan sebagai pembanding nilai terkecil ukuran desain awal yaitu 30 mm. Untuk ukuran maksimum 50 mm dipilih dengan mempertimbangkan jarak holder penyambung sirip dengan motor roket secara minimum yang memiliki panjang 150 mm dari total panjang sirip root 300 mm. Selain pada bagian *Leading Edge* modifikasi juga dilakukan pada bagian *root* sirip, dengan ukuran 5 mm, 10 mm dan 15 mm. Pemilihan ketebalan *root* sirip kurang dari 15 mm dilakukan dengan mempertimbangkan ketebalan maksimum 15 mm dari desain awal yang dimiliki. Ketebalan ini tidak dapat diperbesar, dikarenakan beberapa konsekuensi yang harus diambil yaitu, *root* yang tebal akan mengurangi ukuran diameter *nosecone* roket atau kelebihan ketebalan tersebut menyebabkan roket tidak dapat digunakan pada tabung *launcher*. Oleh karena itu, hal yang mungkin dilakukan yaitu mengurangi dimensi ketebalan *root* sirip. Dalam penelitian ini penggunaan singkatan T digunakan sebagai singkatan dari ukuran panjang *Trailing edge* dan *Leading edge*. Kemudian penggunaan singkatan R ditujukan untuk ukuran ketebalan dari *root* sirip.

Bahan sirip yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Al-7075 dan baja ASTM A36 dengan spesifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Properti mekanis Al7075 dan Baja ASTM A36

No	Bahan	Density ( $kg. m^{-3}$ )	Young's Modulus ( $Pa$ )	Poisson's Ratio	Yield Strength ( $Pa$ )	Ultimate Strength ( $Pa$ )
1	Al7075*	2810	$7.17 \times 10^{10}$	0.33	$5.03 \times 10^8$	$5.72 \times 10^8$
2	ASTM A36**	7850	$20.0 \times 10^{10}$	0.26	$2.5 \times 10^8$	$4.0 \times 10^8$

Sumber: \* ASM Specification Aerospace Metals. 2022. Aluminum 7075-T6; 7075-T651

\*\* Anson Steel.2022. ASTM A36 Carbon Structural Steel Plate

### Beban Aerodinamis

Beban aerodinamis dalam penelitian ini diperoleh dengan menggunakan pendekatan simulasi terbang menggunakan RASAero II [8][9][10]. Dalam penelitian ini beban kecepatan yang digunakan sekitar 2.0 Mach. Kemudian untuk menentukan beban kerja pada satu buah bagian sirip dilakukan pendekatan melalui selisih beban kerja roket saat memiliki sirip (*body+fin*) dan tidak menggunakan sirip (*body*). Karena ukuran sirip simetris maka beban kerja yang terdapat pada satu bagian sirip dapat ditentukan dengan pendekatan perbandingan. Penggunaan sudut serang dalam simulasi menggunakan software RASAero II dilakukan untuk memperoleh estimasi koefisien gaya angkat (Cl) dan koefisien gaya hambat (Cd). Sudut serang yang digunakan yaitu sebesar  $2^\circ$ . Perhitungan besarnya gaya angkat (L) dan gaya hambat (D) menggunakan persamaan berikut:

$$D = \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 \quad (1)$$

$$L = \frac{1}{2} \rho C_l A v^2 \quad (2)$$

Keterangan:

D = gaya hambat (Newton)

L = gaya angkat (Newton)

$\rho$  = massa jenis udara pada altitude 2000 m, sebesar  $1.007 kg. m^{-3}$  [11]

$C_d$  = koefisien gaya hambat

= koefisien gaya angkat

A = luas permukaan sirip (0.072 m<sup>2</sup>)

v = kecepatan(m/s).

### Model Finite Element

Model *finite element* dibuat untuk menghitung nilai frekuensi natural yang dimiliki oleh desain sirip yang dimiliki. Berdasarkan hasil meshing yang dilakukan dengan software *Ansys workbench R19.0.*, diperoleh nilai elemen dan *node* untuk setiap ukuran sirip disajikan pada Tabel 3 berikut.

**Tabel 3.** Elemen dan node hasil meshing untuk setiap ukuran sirip

No	Ukuran Sirip	Element	Node
1	10T 5R	115775	57673
2	10T 10R	109128	55059

3	10T 15R	107249	53801
4	30T 5R	118492	58940
5	30T 10R	108870	54740
6	30T 15R	106290	53267
7	50T 5R	124418	61830
8	50T 10R	113783	57042
9	50T 15R	112832	56453

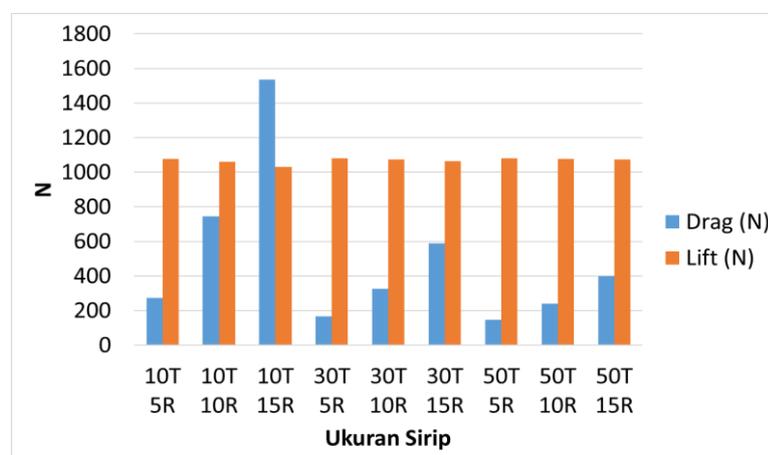
### 3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan gaya hambat dan gaya angkat sebelumnya diperoleh nilai gaya hambat dan gaya angkat pada sirip seperti pada Tabel 4. Data gaya angkat dan gaya hambat menunjukkan bahwa semakin tebal sirip *root*, semakin besar gaya hambat dan gaya angkat semakin kecil. Begitupun sebaliknya semakin panjang *leading edge*, semakin kecil gaya hambat dan semakin besar gaya angkat. Hal ini dapat dilihat dengan jelas pada Gambar 2. Dari sudut pandang aerodinamis, semakin kecil gaya hambat semakin baik untuk kinerja roket [5]. Dari segi stabilitas, semakin tinggi gaya angkat yang dihasilkan oleh sirip semakin baik untuk akurasi roket [12].

**Tabel 4.** Gaya hambat (*drag*) dan gaya angkat (*lift*) hasil simulasi terbang

No	Ukuran Sirip	Drag (N)	Lift (N)
1	10T 5R	272	1076
2	10T 10R	746	1060
3	10T 15R	1534	1032
4	30T 5R	166	1080
5	30T 10R	325	1075
6	30T 15R	588	1065
7	50T 5R	145	1081
8	50T 10R	240	1078
9	50T 15R	398	1072

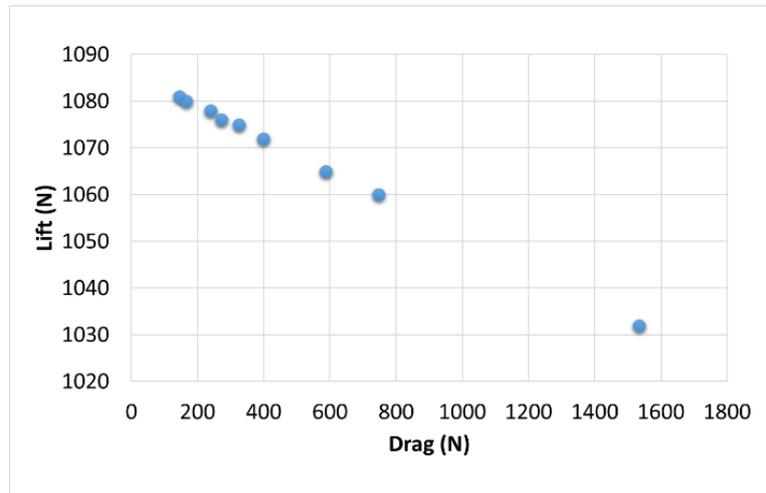
Hubungan antara besarnya gaya hambat terhadap gaya angkat yang dimiliki oleh sirip yang telah dilakukan simulasi dapat dilihat pada Gambar 3. Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa nilai gaya angkat yang dimiliki oleh sirip akan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya gaya hambat yang dimiliki oleh sirip. Dengan kata lain semakin besar gaya hambat maka gaya angkat yang dihasilkan akan semakin kecil [13], [14]. Peningkatan besarnya gaya angkat pada sirip dipengaruhi oleh dengan bertambahnya luas penampang yang dimiliki oleh sirip [14].



**Gambar 2.** Grafik gaya hambat (*drag*) dan gaya angkat (*lift*) hasil simulasi terbang untuk setiap ukuran sirip

Dari data yang diperoleh dapat diketahui untuk sirip yang memiliki ukuran sirip lebih tipis dengan panjang *leading edge/ trailing edge* 50 mm dan tebal *root* 5, memiliki nilai gaya hambat sebesar 145N dan gaya angkat sebesar 1081 N. Kemudian dengan ketebalan *root* yang sama (5 mm) dengan panjang *leading edge/ trailing edge* 30 mm, gaya hambat yang dimiliki sebesar 166 N dan gaya angkat sebesar 1080. Dari data-data simulasi yang ada

terebut terlihat perubahan gaya hambat secara signifikan dipengaruhi oleh tebal dan tipisnya permukaan yang dimiliki oleh *leading edge/ trailing edge*.



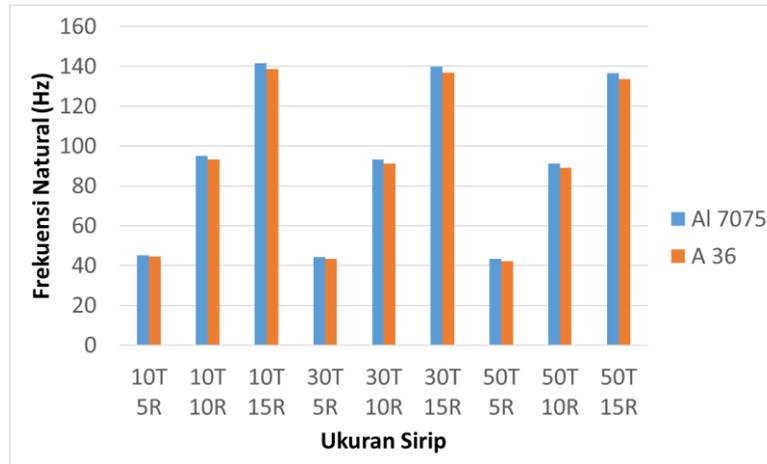
Gambar 3. Kurva hubungan gaya hambat (*drag*) dan gaya angkat (*lift*)

Tabel 5 merupakan hasil perhitungan frekuensi natural orde pertama dari simulasi *finite element* dengan menggunakan *Ansys workbench R19.0*. Berdasarkan tabel tersebut dapat terlihat nilai frekuensi natural orde pertama yang terjadi pada permukaan sirip roket. Dari data tersebut terlihat semakin bertambah panjang *leading edge/ trailing edge*, frekuensi natural orde pertama yang dimiliki akan semakin berkurang. Berbeda halnya dengan pertambahan nilai tebal *root* sirip. Semakin bertambah ketebalan *root* sirip, maka nilai frekuensi natural yang dimiliki akan semakin bertambah. Dapat diketahui bahwasanya perubahan tebal *root* sirip memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai frekuensi natural dari model sirip yang ada. Desain sirip roket yang baik secara aerodinamik yaitu sirip roket yang memiliki beban kerja dibawah nilai frekuensi natural yang dimiliki [15].

Tabel 5. Frekuensi natural bahan sirip Al 7075 dan A36 untuk setiap ukuran sirip

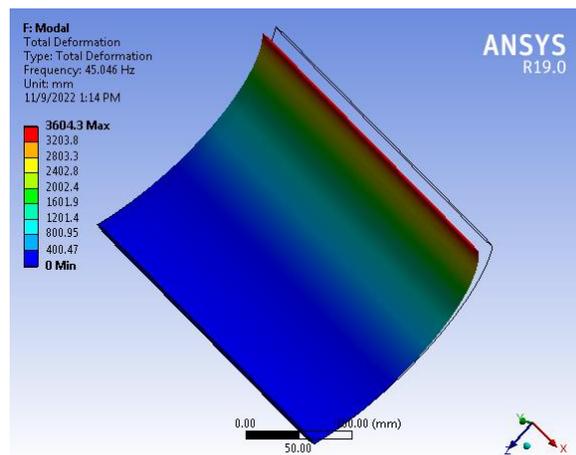
No	Ukuran Sirip	Frekuensi Al7075 (Hz)	Frekuensi ASTM A36 (Hz)
1	10T 5R	45.046	44.577
2	10T 10R	95.14	93.137
3	10T 15R	141.55	138.59
4	30T 5R	44.213	43.22
5	30T 10R	93.126	91.077
6	30T 15R	139.81	136.74
7	50T 5R	43.215	42.227
8	50T 10R	91.037	88.984
9	50T 15R	136.62	133.55

Dari kedua bahan sirip terlihat untuk bahan sirip Al7075 dan ASTM A36 nilai frekuensi natural orde pertama yang dihasilkan tidak mengalami perbedaan yang signifikan. Namun dari data yang dihasilkan nilai frekuensi natural untuk bahan ASTM A36 memiliki nilai frekuensi natural kurang dari bahan Al7075. Untuk melihat perbedaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



**Gambar 4.** Grafik frekuensi natural sirip bahan Al7075 dan ASTM A36

Pada Tabel 5 dan Gambar 4, dapat terlihat untuk ukuran *root* sirip yang sama memiliki frekuensi natural cenderung sama walaupun panjang *leading edge/trailing edge* dan bahan yang dimiliki berbeda. Secara aerodinamis pada saat roket diterbangkan akan terjadi percepatan yang ditimbulkan saat proses pembakaran. Pada saat itu terjadi getaran dengan amplitude yang besar sehingga menyebabkan terjadinya gangguan pada struktur sirip roket. Pada akhirnya sirip roket tidak dapat bekerja seperti yang diinginkan [15]. Oleh karena itu, perhitungan frekuensi natural pada sirip sangat diperlukan untuk mengetahui batas kekuatan sirip roket untuk bersonansi secara natural. Frekuensi natural juga digunakan untuk mengetahui batas kritis sebuah sirip untuk terjadinya *fluttering* [16]. Achara (2018) [17] mengungkapkan bahwa sebelum proses *flutter* terjadi, pada bagian depan *leading edge* akan menalami tekanan yang tinggi hingga kemudian berlanjut pada ujung sirip yang mulai terbentuk deformasi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada salah satu contoh model simulasi yang ditunjukkan oleh Gambar 5 berikut.



**Gambar 5.** Contoh model Deformasi total frekuensi natural orde pertama sirip 10T5R.

Bentuk distribusi deformasi total yang dicontohkan pada Gambar 5 memiliki kesamaan bentuk yang sama pada setiap jenis ukuran sirip yang lainnya. Hal yang mencolok yang membedakan simulasi *finite element* dari setiap ukuran sirip adalah nilai frekuensi natural yang dimiliki. Dari data yang diperoleh nilai frekuensi natural terkecil dimiliki oleh 42.227 Hz dengan ukuran 50T5R bahan ASTM A36. Sedangkan nilai frekuensi terbesar dimiliki oleh ukuran sirip 10T15R dengan frekuensi sebesar 141.55 Hz. Menurut Sugiarmadji (2010)[18] untuk keamanan struktur roket, frekuensi natural orde pertama sebaiknya mempunyai nilai sama dengan 100 Hz atau dibawahnya, untuk menghindari resonansi dengan struktur roket.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa secara aerodinamis sirip lipat ukuran 50T5R memiliki nilai gaya hambat 145 N dan gaya angkat 1081 N merupakan sirip yang memiliki desain optimal. Berdasarkan analisa frekuensi natural yang dihasilkan sirip dengan ukuran 10T5R, 10T10R, 30T5R, 30T10R, 50T5R, dan 50T10R merupakan sirip yang memiliki nilai struktur yang aman dari terjadinya resonansi yang disebabkan oleh lingkungan kerja roket.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Univeritas Pertahanan Indonesia atas bantuan dana penelitian melalui dana penelitian akademik RIDU 2022 yang telah diberikan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Pusat Kesenjataan Artileri Medan TNI-AD atas izin pengambilan data yang telah dilakukan.

#### Daftar Pustaka

- [1] Kemhan\_RI, *Buku Putih Pertahanan Indonesia 2015*. 2015.
- [2] A. M. Cahyono, D. A. Navalino, and Y. H. Yogaswara, "ANALISIS PERSYARATAN DAN TINGKAT KESIAPTERAPAN TEKNOLOGI SISTEM SENJATA ROKET BALISTIK R-HAN 122 B UNTUK PERTAHANAN INDONESIA," *J. Teknol. Persenjataan*, vol. 3, no. 2, pp. 32–48, 2021.
- [3] K. Madhulaalasa, P. Shishir, P. V. S. Prasad, P. K. Mohanta, and S. Sapkale, "Effect of the Leading-Edge Sweep on Wrap-Around Fins," *INCAS Bull.*, vol. 14, no. 1, pp. 69–78, 2022, doi: 10.13111/2066-8201.2022.14.1.6.
- [4] F. Emma, "Design, Manufacturing, and Integration of Fins for 2017-2018 OSU ESRA 30k Rocket," 2018.
- [5] N. Sharma, G. S. Nagi, H. Chaudhary, P. Saini, and R. Kumar, "Computational flow field analysis around a single wrap-around fin," *INCAS Bull.*, vol. 12, no. 2, pp. 199–216, 2020, doi: 10.13111/2066-8201.2020.12.2.17.
- [6] H. J. Na, C. G. Kim, I. Lee, J. Y. Kim, and S. Bin Bae, "Nonlinear aeroelastic analysis of a rolling wraparound fin," *J. Spacecr. Rockets*, vol. 54, no. 5, pp. 1041–1049, 2017, doi: 10.2514/1.A33516.
- [7] G. Q. Zhang, S. C. M. Yu, and J. Schlüter, "Aerodynamic characteristics of a wrap-around fin rocket," *Aircr. Eng. Aerosp. Technol.*, vol. 88, no. 1, pp. 82–96, 2016, doi: 10.1108/AEAT-03-2014-0030.
- [8] R. Lippmann *et al.*, "OVERVIEW OF THE CURRENT WORK ON THE STUDENT ROCKET DECAN-AQUARIUS AT THE TU BERLIN," *Dtsch. Luft- und Raumfahrtkongress*, pp. 1–10, 2021.
- [9] T. J. Rose and K. E. Niemeyer, "A Statistical Approach to Design of a Liquid Engine Launch Vehicle," in *AIAA Propulsion and Energy 2021 Forum*, 2021, p. 3355.
- [10] M. A. Shubov and M. V. Shubov, "Aerodynamic performance of ultra long range projectiles.," *Math. Eng. Sci. Aerosp.*, vol. 8, no. 1, 2017.
- [11] E. ToolBox, "U.S. Standard Atmosphere vs. Altitude," 2003. [https://www.engineeringtoolbox.com/standard-atmosphere-d\\_604.html](https://www.engineeringtoolbox.com/standard-atmosphere-d_604.html) (accessed Jul. 18, 2022).
- [12] A. Raza and H. Wang, "Range and Accuracy Improvement of Artillery Rocket Using Fixed Canards Trajectory Correction Fuze," *Aerospace*, vol. 9, no. 1, 2022, doi: 10.3390/aerospace9010032.
- [13] G. Q. Zhang, L. C. Ji, Y. Xu, and J. Schlüter, "Parametric study of different fins for a rocket at supersonic flow," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 229, no. 18, pp. 3392–3404, 2015, doi: 10.1177/0954406215590642.
- [14] W. F. Phillips, D. F. Hunsaker, and J. J. Joo, "Minimizing induced drag with lift distribution and wingspan," *J. Aircr.*, vol. 56, no. 2, pp. 431–441, 2019, doi: 10.2514/1.C035027.
- [15] A. B. Djatmiko, F. Rahmasari, E. Yuniati, and G. T. Budiarto, "Perancangan kekuatan sirip roket RX 450 seri 18.01 akibat pengaruh beban getaran Design of RX 450 series 18.01 rocket fin strength due to the effect of vibration load," vol. 27, no. 3, pp. 88–94, 2021.
- [16] N. Andria, "ANALISIS FLUTTER SIRIP ROKET BALISTIK RX-420 DENGAN MELIBATKAN MODUS GERAK KAKU STRUKTUR ROKET," *MAKARA, TEKNOLOGI*, vol. 15, no. 2, pp. 107–114, 2011.
- [17] N. Achara, E. Bongdap, and N. Keza, "Aerodynamic Characterisation of Rocket Fin Flutter Using Computational Fluid Dynamics (CFD)," no. 2, pp. 30–34, 2018.
- [18] Sugjarmadji, "KARAKTERISTIK DINAMIK STRUKTUR ROKET RKN BERTINGKAT PADA KONDISI TERBANG-BEBAS (FREE FLYING)," *J. Teknol. Dirgant.*, vol. 8, no. 1, pp. 29–35, 2010.