

# **OPTIMASI KARAKTERISTIK AERODINAMIKA PADA DESAIN PELURU KENDALI ANTI KAPAL PERMUKAAN UNTUK KAPAL- CEPAT-RUDAL INDONESIA (AERODYNAMIC CHARACTERITSTIC OPTIMIZATION ON THE DESIGN OF ANTI-SHIP MISSILE FOR INDONESIAN FAST-MISSILE- BOAT)**

**Fuji Dwiastuty<sup>1</sup>, Romie Oktovianus Bura<sup>2\*</sup>,<sup>3</sup>, Robertus Heru Triharjanto<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan

<sup>2</sup>Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan

<sup>3</sup>Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung

<sup>4</sup>Pusat Kajian Kebijakan Penerbangan dan Antariksa, LAPAN

\*Corresponding Author : Romie Oktovianus Bura (romiebura@idu.ac.id)

Diterima : 10 Juli 2019; Direvisi : 10 Juli 2019; Disetujui : 08 September 2019

## **ABSTRAK**

Rudal adalah salah satu bagian dari tujuh program kemandirian alat utama sistem senjata (alutsista) Indonesia. Sehingga penelitian mengenai konsep sistem rudal anti kapal permukaan bagi Kapal Cepat Rudal (KCR) Indonesia dilakukan di Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan desain optimal dari konsep rudal anti-kapal yang didapat dari penelitian sebelumnya, yakni rudal jelajah 2 tahap dengan diameter 0,36 m, panjang total 5,19 m, ketinggian terbang jelajah 17 m, dan kecepatan terbang jelajah 0,88 Mach. Optimasi dilakukan pada parameter aerodinamika rudal untuk memaksimalkan rasio *lift to drag* nya, yang merupakan salah satu penentu kinerja rudal. Variabel yang dipilih adalah bentuk nose cone, jumlah sayap, dan penampang badan rudal. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nose cone tidak berpengaruh pada parameter aerodinamika karena rudal terbang pada kecepatan subsonik. Hasil perhitungan juga menunjukkan bahwa konfigurasi rudal dengan *lift to drag* terbaik memiliki 2 sayap dengan panjang pangkal 1,18 m, tinggi 0,79 m, dan panjang ujung 0,71 m, bentuk penampang elips, and diterbangkan dengan sudut serang 6°.

Kata kunci: *aerodinamika, optimasi desain, rudal anti kapal permukaan*

## ABSTRACT

Missile is one of seven main weapon systems defined to be self-reliant in Indonesia. Therefore research on the anti-ship missile system concept for fast-missile-boat had been carried out at the Faculty of Defense Technology, Defense University. This research aims to obtain an optimal design of anti-ship missile done conceived by the previous research, i.e. 2 stages cruise missile with diameter of 0,36 m, total length of 5,19 m, cruise flight altitude of 17 m, and cruise flight speed of 0,88 Mach. The optimization is done on the missile's aerodynamics characteristics to maximize its lift to drag ratio, which is one of the factor that determine the missile's performance. Variables of nose cone shapes, number of wings, and body cross sections were chosen for evaluation of lift to drag ratio. The research found that nose cone shape did not affect the aerodynamic characteristics since the flight speed is subsonic. From the rest of the variables, it is found that the best configuration is missile with 2 wings with root length of 1,18 m, height of 0,79 m, and tip length of 0,71 m, elliptical body cross section, and the missile is to be flown at 6° angle of attack.

Keywords: *aerodynamics, design optimization, anti-ship missile*

## 1 PENDAHULUAN

Konsep desain peluru kendali (rudal) anti kapal permukaan berdasarkan kebutuhan Indonesia telah dilakukan melalui penentuan kriteria parameter desain dan penentuan parameter utama rudal bagi Kapal Cepat Rudal (KCR) (Dwiastuty, 2019).

KCR merupakan kapal *combatant* yang beroperasi di bagian belakang *layer defense*, sehingga target rudal yang diluncurkan adalah kapal permukaan atau target lainnya yang berada di permukaan wilayah teritorial Indonesia. Operasi KCR tersebut menjadikan rudal harus mampu berada pada semua kondisi alam Indonesia. Salah satu kesimpulan dari studi persyaratan pengguna menunjukkan bahwa kriteria kebutuhan rudal di KCR yang paling utama adalah akurasi, karena taktik *hit and run* yang digunakan KCR menuntut rudal yang diluncurkan mampu memberikan kerusakan sistem pada target. Hal lain, kondisi lingkungan laut Indonesia yang tidak jauh berbeda dengan negara-negara disekitarnya, membuat negara-negara tersebut mempunyai rudal anti-kapal yang

sejenis, sehingga analisa statistik atas parameter utama rudal dapat dilakukan.

Tujuan dari penelitian adalah mendapatkan konfigurasi wahana rudal anti kapal bagi KCR yang optimal. Penelitian dengan topik serupa diantaranya dilakukan oleh Tanil (2009), yang menggunakan Genetic Algorithm (GA) untuk mencari desain optimal. Ahmad et.al. (2016) melakukan penelitian terhadap kinerja rudal jelajah dengan menggunakan terowongan angin, untuk mendapatkan sudut serang optimal. Guzelbey et.al. (2018) melakukan atas kajian metoda optimasi aerodinamis desain rudal yang pernah dilakukan dan menyimpulkan bahwa yang paling umum digunakan GA dan *Adjoint Method*. Penelitian tentang optimasi rudal lainnya dilakukan oleh Qihang et.al. (2015) yang juga menggunakan GA namun dilakukan pada desain trayektori balistik.

Desain dasar yang digunakan sebagai dasar optimasi adalah kesimpulan penelitian Dwiastuty (2019), dimana konfigurasi rudal yang dapat menjadi acuan bagi KCR Indonesia adalah:

- Kecepatan jelajah : 0,8 – 0,9 Mach
- Panjang : 4,3 – 6,3 m
- Diameter : 0,28 – 0,44 m
- Sistem pemandu : GPS-INS dan radar aktif
- Sistem Propulsi : Solid booster dan turbojet sustainer
- Berat : 340 – 960 kg
- Flight Altitude : <30 m
- Wing Span : 1 – 1,6 m
- Jarak Jangkau : 170 km
- Mode Ledak : delay contact fuze

Acuan optimasi pada penelitian ini adalah daya hambat aerodinamis yang minimal, sehingga kinerja rudal, yakni berat peledak dan/atau jangkauan rudal bisa meningkat. Karena hal tersebut, metode penelitian yang digunakan adalah analisa aerodinamika atas konfigurasi, sesuai acuan dari Fleeman (2001), dan Maurice (2009).

## 2 AERODINAMIKA RUDAL

Berdasarkan Guzelbey (2018), optimasi aerodinamik digunakan untuk mendapatkan geometri eksternal yang akan berfungsi dalam meningkatkan kinerja terbang rudal sehingga mencapai misinya. Aerodinamik rudal akan berfokus pada aliran udara diatas rudal dan menyelidiki bagaimana efek dari aliran tersebut dalam hal *drag*, lift dan stabilitas rudal. Hidung, badan, sayap, canard, dan fin didesain untuk memberikan rasio ketinggian *lift* hingga *drag* dan kontrol rudal. Asumsi pertama pada analisa aerodinamika adalah parameter temperatur dan tekanan atmosfer. Untuk rudal anti-kapal dengan moda terbang sea-skimming, maka digunakan asumsi ketinggian terbang akan dibawah 11 km (dari permukaan laut), maka model atmosfernya adalah :

$$T_a = T_0 - (0,006499708)h \quad (2-1)$$

$$P_a = P_0 (1 - 2,2556925 \cdot 10^{-5} \times h)^{5,2561} \quad (2-2)$$

Dimana  $h$ = ketinggian terbang [m],  $T_0$ = (288,1667 K,  $T_a$ = temperatur pada ketinggian terbang (K),  $P_0$ = 101314,628 N/m<sup>2</sup>, dan  $P_a$  = tekanan pada ketinggian terbang [N/m<sup>2</sup>].

Dari persamaan (2-1) dan (2-2) parameter yang dapat diketahui :

$$\rho = \frac{P_a}{R T_a} \quad (2-3)$$

$$V_a = 20,037832402\sqrt{T_a} \quad (2-4)$$

$$q = \frac{1}{2}\rho v^2 \quad (2-5)$$

Dimana :

$\rho$  = massa jenis udara [kg/m<sup>3</sup>],

$V_a$  = kecepatan udara [m/s],

$v$  = kecepatan rudal [Mach],

$q$  = tekanan dinamik [kg/m<sup>2</sup>],

$R$  = 286,99236 N.m/Kp-°K.

Tekanan dinamik ( $q$ ) merupakan tekanan aerodinamik yang sering muncul dalam derivasi dari bagian aerodinamis. Selain itu, dalam menyelesaikan permasalahan jumlah gaya normal dan gaya tangensial yang bekerja pada permukaan karena gerakan fluida disekitar rudal dibagi menjadi tiga komponen sepanjang sumbu yang sejajar dan tegak lurus dengan arah aliran bebas.

Tiga komponen tersebut diantaranya: *Lift* (L), *drag* (D), dan *side force* (Y). Hubungan antara tekanan, *lift*, dan *drag* pada kecepatan aliran bebas digambarkan pada Gambar 2-1. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa vektor *lift* yang bekerja pada pusat tekanan (cp) dari sudut serang yang dapat memiliki efek destabilisasi sehingga perlu dikontrol.

Perubahan pada parameter-parameter konfigurasi rudal saling berdampak satu dengan lainnya. Sebagian bahkan pada kinerja rudal.

Sehingga, dalam optimasi identifikasi dampak tersebut perlu diperhatikan untuk meyakinkan kriteria kebutuhan teknis terpenuhi. Misalnya diameter rudal, yang batas maksimumnya adalah dimensi dengan *launcher platform*, dapat berpengaruh pada:

- (1) Jarak jangkauan rudal, resolusi sensor pemandu (aperture) dan kemampuan pelacakan target.
- (2) Daya ledak muatan yang menentukan kecepatan dan tekanan fragmentasi.
- (3) Kelenturan badan rudal, yang berpengaruh pada karakteristik kontrol terbang (*manuverability*).
- (4) Kapasitas pengemasan subsistem-subsistem yang berada dalam badan rudal.
- (5) Panjang rudal yang juga dibatasi oleh dimensi platform peluncur.

Optimasi pada diameter rudal ini diharapkan memberikan *drag* yang terkecil, sehingga mampu mendukung rudal dalam menjangkau target. Rasio panjang dan diameter dapat ditentukan dengan membandingkan koefisien angkat dan hambat. Dalam menentukan rasio tersebut maka dapat digunakan persamaan dibawah ini.

$$|C_N| = \left[ \left( \frac{a}{b} \right) \cos(\phi) + \left( \frac{b}{a} \right) \sin(\phi) \right] \left[ \left| \sin(2\alpha) \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right| + 2 \left( \frac{l}{d} \right) \sin^2(\alpha) \right] \quad (2-6)$$

$$\frac{L}{D} = \frac{C_L}{C_D} = \frac{(C_N \cos(\alpha) - C_{D_0} \sin(\alpha))}{(C_N \sin(\alpha) - C_{D_0} \cos(\alpha))} \quad (2-7)$$

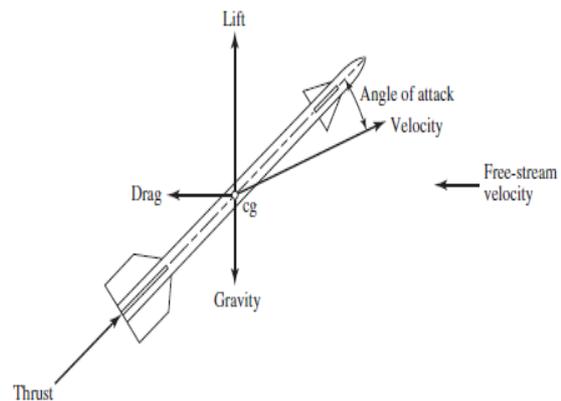
Dimana :

- $C_D$  = koefisien *drag*,
- $C_L$  = koefisien angkat,
- $C_Y$  = koefisien gaya samping,
- $C_{D_0}$  = koefisien *zero-lift drag*,

$C_N$  = koefisien normal,  
 $\frac{a}{b}$  = rasio dari sumbu utama ke sumbu terkecil.

$\alpha$  = sudut serang,

$\phi$  = sudut antara gaya normal dan titik potong pada penampang badan, diasumsikan bernilai nol.

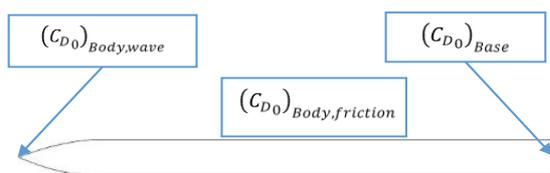


Gambar 2-1: Gaya dan Tekanan Aerodinamik pada Rudal (Siouris, 2003)

Menurut Maurice (2009), *drag* adalah parameter penentu kecepatan rudal. *Drag* yang paling mempengaruhi kinerja rudal berasal dari badan, sayap (*wings*), dan ekor (*tail*), dan hidung (*radome*). Perbandingan nilai *lift* dan *drag* pada rudal menentukan sudut serang optimum saat terbang. Dalam penelitian ini, nilai *drag* yang diamati berada pada badan dan sayap, karena nilai *drag* pada ekor relatif kecil, sehingga diabaikan.

### 2.1 Drag pada badan rudal

Menurut Fleeman (2001), tiga komponen *drag* yang terjadi pada rudal adalah: *drag* yang diakibatkan gelombang kejut pada *radome*, *drag* karena distribusi tekanan pada permukaan rudal (*base*), dan *drag* karena gesekan pada badan rudal, seperti diilustrasikan pada gambar 2-2. Pada rudal subsonik, tidak terjadi gelombang kejut pada rudal sehingga komponen pertama tidak ada.



Gambar 2-2 : Koefisien Drag Pada Badan Rudal (Fleeman, 2001)

Gas panas hasil dari pembakaran akan keluar melalui *nozzle* untuk memberikan daya dorong pada rudal. Luas area exit *nozzle* juga mempengaruhi komponen drag karena distribusi tekanan. Pada penelitian ini, diameter *nozzle* diasumsikan 22% dari diameter rudal, sehingga luas area *nozzle* ( $A_e$ ) sekitar 48% dari luas penampang rudal. Selama mendapatkan daya dorong, drag yang berada pada bagian belakang rudal akan berkurang oleh faktor:

$$\left(\frac{1-A_e}{S_{Ref}}\right) \tag{2-8}$$

$$(C_{D0})_{Base,coast} = (0,12 + 0,13v^2) \tag{2-9}$$

$$(C_{D0})_{Base,powered} = \left(\frac{1-A_e}{S_{Ref}}\right)\left(\frac{0,25}{v}\right) \tag{2-10}$$

Dimana :

- $A_e$  = luas area exit *nozzle* ( $m^2$ ),
- $S_{Ref}$  = luas permukaan badan rudal,
- $l$  = panjang rudal.

Koefisien drag yang disebabkan gesekan pada lapisan badan rudal adalah :

$$(C_{D0})_{Body,friction} = 0,053 \left(\frac{l}{d}\right)\left(\frac{v}{ql}\right) \tag{2-11}$$

### 2.2 Drag pada sayap rudal

Jumlah sayap rudal menentukan pula nilai koefisien drag pada sayap. Karena rudal pada penelitian berkecepatan subsonik, drag hanya terjadi karena gesekan. Selain itu koefisien drag pada sayap akan

dipengaruhi pula oleh *mean aerodynamic chord* ( $C_{mac}$ ).

$$(C_{D0})_{wing} = (C_{D0})_{wing,friction} \tag{2-12}$$

$$= n_w \left[ \frac{0,0133}{(qC_{mac})^{0,2}} \right] \left( \frac{2S_w}{S_{ref}} \right)$$

$$\lambda = \frac{C_R}{C_T} \tag{2-13}$$

$$C_{mac} = \left(\frac{2}{3}\right) C_R \frac{(1+\lambda+\lambda^2)}{(1-\lambda)} \tag{2-14}$$

Dimana:

- $C_R$  : Panjang sayap 1
- $C_T$  : Panjang sayap 2
- $t$  : Tinggi sayap
- $S_W$  : Luas permukaan sayap

## 3 PARAMETER RUDAL

### 3.1 Dimensi dan kondisi terbang

Dari penelitian Dwiastuty (2009), didapat data mengenai dimensi dan kondisi terbang rudal anti-kapal yang dapat digunakan sebagai desain dasar, seperti pada tabel 2-1 dan 2-2. Desain dasar tersebut yang akan digunakan dalam optimasi.

Tabel 2-1: PARAMETER DIMENSI DAN KECEPATAN RUDAL (Indomiliter, 2011) (Indomiliter, 2008)

No	Rudal	Panjang (m)	Diamet-er (m)	Kecepatan (mach)	Wings-pan (m)
1	C-705	4,35	0,28	0,8	0,6
2	C802	6,38	0,36	0,9	1,22
3	Gabriel	4,7	0,44	0,9	1,6
4	KH-35 Uran E	4,4	0,42	0,9	1,33
5	MM 38	5,21	0,35	0,9	1
6	MM 40 Blok 2	5,8	0,35	0,9	1,13
7	SSM - 700K	5,46	0,34	0,85	1,35
Rata - rata		5,19	0,36	0,88	1,18

Mengacu pada nilai rata-rata di Tabel 2-1, panjang dan diameter yang digunakan adalah 5,19 m dan 0,36 m. Umumnya, rasio *missile body fineness* berada pada rentang 5 hingga 25. Rasio panjang dan diameter rata-rata rudal dari alternatif konfigurasi yang dipilih adalah 14.4.

Tabel 2-2: KETINGGIAN TERBANG RUDAL

No.	Rudal	Ketinggian terbang (m)
1	C-705	20
2	C802	30
3	Gabriel	2,5
4	KH-35 Uran	15
Rata - rata		17

Pada penelitian ini ditentukan spesifikasi rudal C705, C802, Gabriel dan KH-Uran E menjadi empat alternatif konfigurasi untuk dianalisa karakter aerodinamikanya. Sehingga, ketinggian terbang rudal di penelitian ini adalah 17 m, sesuai rata-rata dari ditunjukkan pada Tabel 3-2. Ketinggian terbang tersebut sesuai dengan persyaratan operasi KCR, sesuai penelitian Hardjono (2018). Pada kondisi rudal berada pada mode *sea skimming*, sehingga temperatur atmosfer, tekanan, massa jenis udara, dan tekanan dinamik adalah seperti pada tabel 2-3.

Tabel 2-3: PARAMETER KONDISI TERBANG RUDAL

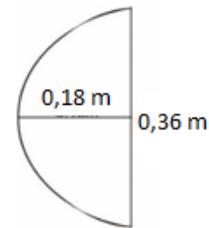
$T_a$	$P_a$	$\rho$	$V_a$	Q
288,06	101,110	1,23	340,09	54,326

### 3.2 Radome rudal

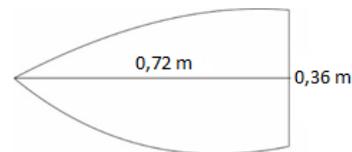
Bentuk radome, atau hidung rudal, yang sesuai untuk digunakan pada rudal subsonik, yaitu *hemisphere*

dan *tangent ogive*. Kedua bentuk tersebut akan menjadi variabel rudal dalam penelitian ini. Radome dengan bentuk *hemisphere* memiliki kemampuan untuk meminimalkan sudut distorsi (atau penyimpangan sudut), sedangkan bentuk *tangent ogive* memiliki bentuk yang aerodinamis.

Jika diameter dari rudal adalah 0,36 m, maka panjang hidung rudal untuk Bentuk radome *hemisphere* dan Bentuk radome *tangent ogive* dapat ditentukan sebagai berikut:



Gambar 3-1: Bentuk Radome Hemisphere



Gambar 3-2: Bentuk Radome Tangent Ogive

## 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan koefisien *drag* pada bagian badan rudal dengan menggunakan persamaan yang ada pada subbab 2.1, maka dihasilkan nilai pada Tabel 4-1.

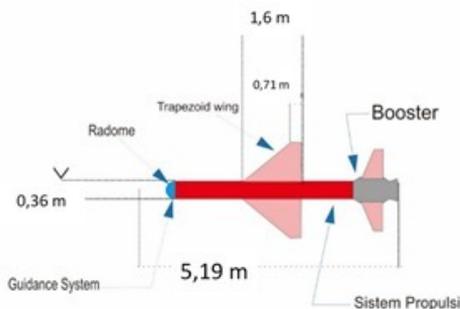
Pada penelitian ini, variabel jumlah sayap pada rudal ( $n_w$ ) adalah 2 dan 4, dan diasumsikan berbentuk trapesium. Bentuk sayap ini diambil karena memiliki hanya sedikit memantulkan sinyal radar (*low radar cross section*). Ukuran dari sayap diambil dari rata-rata panjang sayap rudal pada Tabel 2-1. Sebagai ilustrasi, konfigurasi

rudal dengan bentuk *radome* hemisphere dan dua sayap yang diilustrasikan pada Gambar 4-1, dan konfigurasi rudal dengan bentuk *tangen ogive* dan dua sayap yang diilustrasikan pada Gambar 4-2.

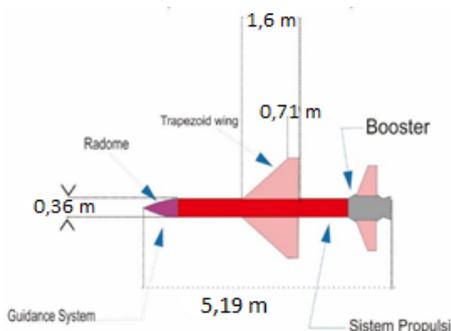
Tabel 4-1: KOEFISIEN HAMBATAN DI BADAN RUDAL

$(C_{D0})_{Body,friction}$	0,05
$(C_{D0})_{Base,coast}$	0,22
$(C_{D0})_{Base,powered}$	0,2
$(C_{D0})_{Body,coast}$	0,28
$(C_{D0})_{Body,powered}$	0,26

Gambar-gambar tersebut menunjukkan bahwa rudal dengan radome ogive tangen akan lebih panjang dari rudal dengan radome hemisphere.



Gambar 4-1: Konfigurasi rudal 2 sayap dengan radome hemisphere



Gambar 4-2: Konfigurasi rudal 2 sayap dengan radome tangen ogive

Dalam menentukan luas permukaan sayap dilakukan perhitungan sebagai berikut:

- a. Panjang pangkal ( $C_R$ ) = 1,18 m,
- b. Panjang ujung ( $C_T$ ) =  $(\frac{6}{100} \times 1,18) = 0,71$  m,
- c. Tinggi sayap ( $t$ ) =  $\frac{C_R}{2} = \frac{1,18}{2} = 0,79$  m,
- d. Luas permukaan sayap ( $S_W$ ) =  $(0,5)(C_R)(C_T)t = 0,57$  m<sup>2</sup>.

Maka, *taper ratio* dari rudal dengan dua sayap dan nilai  $C_{mac}$ , yaitu:

$$\lambda = 1,6 \tag{2-15}$$

$$C_{mac} = 0,97 \tag{2-16}$$

Nilai pada Persamaan (2-15) dan (2-16) dapat menghasilkan nilai  $(C_{D0})_{wing,friction}$ ,  $(C_{D0})_{wing}$  dan nilai total koefisien *drag* awal seperti ditabulasikan di Tabel 4-2. Seperti juga pada radome, karena rudal terbang dalam kondisi subsonik, maka pada sudut serang nol drag hanya ditentukan oleh gesekan pada sayap.

Tabel 4-2: KOEFISIEN ZERO-LIFT DRAG PADA WING

$n_w$	2	4
$(C_{D0})_{wing,frict}$	0,03	0,07
$(C_{D0})_{wing}$	0	0
$(C_{D0})_{total}$	0,03	0,07

Pada penelitian ini dipilih dua konfigurasi bentuk penampang badan yang digunakan sebagai konfigurasi alternatif, yakni lingkaran dan elips. Jika penampang badan berbentuk lingkaran maka rasio dari sumbu utama ke sumbu terkecil ( $\frac{a}{b}$ ) bernilai satu, sedangkan pada elips rasio  $\frac{a}{b}$  bernilai dua.

Diasumsikan sudut serang dalam menentukan koefisien gaya normal berada pada 0°, 3°, 6°, 9°. Sudut serang yang kecil merupakan nilai sudut yang digunakan oleh rudal yang berjenis subsonik untuk menghasilkan ketinggian terbang pada mode sea skimming. Koefisien gaya normal penampang badan pada setiap sudut ditunjukkan pada Tabel 4-3.

Tabel 4-3: KOEFISIEN GAYA NORMAL PENAMPANG PADA SETIAP SUDUT

Jenis	$\frac{a}{b}$	$C_N$			
		0°	3°	6°	9°
Elliptical	2	0	1,11	5,56	10,11
Circular	1	0	0,55	2,78	5,06

Setelah mendapatkan nilai koefisien gaya normal, maka nilai koefisien *lift* dan *drag* dapat diketahui. Dari tabel 4-5 terlihat bahwa koefisien *lift* tidak banyak terpengaruh oleh jumlah sayap. Namun, koefisien drag bertambah dengan jumlah sayap seperti terlihat pada Tabel 4-6. Variasi sudut serang yang dipilih pada penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar sudut semakin tinggi nilai koefisien drag yang dimiliki.

Tabel 4-5: KOEFISIEN *LIFT* PADA SETIAP SUDUT SERANG

C	CL			
	Elliptical		Circular	
	nw=2	nw=4	nw=2	nw=4
0	0	0	0	0
3	1,09	1,09	0,54	0,54
6	5,50	5,50	2,74	2,73
9	9,94	9,94	4,95	4,94

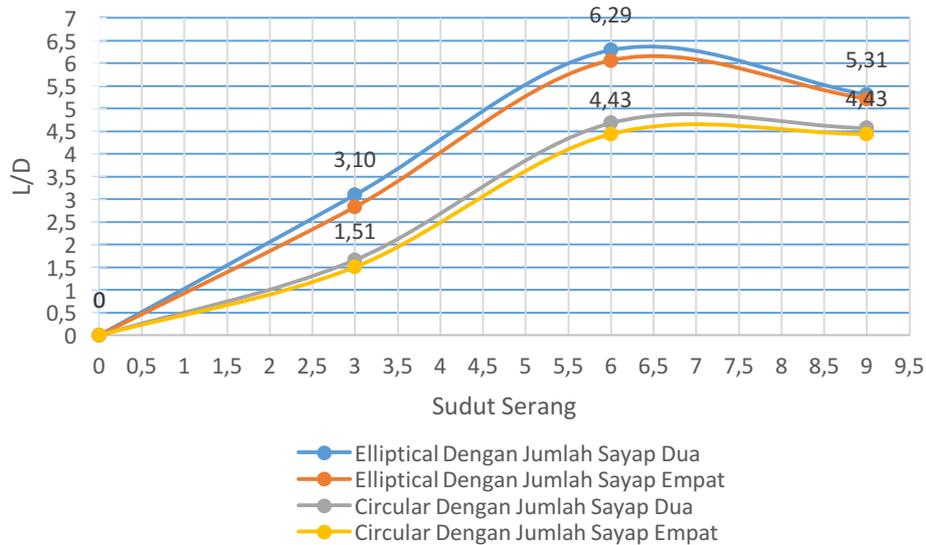
Untuk melihat dengan lebih baik efeknya terhadap kinerja rudal, sehingga bisa dilakukan pemilihan konfigurasi maximum maka dilihat dampaknya Peningkatan nilai koefisien *drag* berdampak pada penurunan nilai rasio *lift* dan *drag* di empat sudut tersebut. Dari Gambar 4-3 terlihat bahwa rasio antara *lift* dan *drag* meningkat secara stabil pada sudut serang 0° hingga 6°. Namun, pada sudut serang 9° terjadi penurunan secara konstan.

Tabel 4-6: KOEFISIEN DRAG PADA SETIAP SUDUT SERANG

Sudut Serang	CD			
	Elliptical		Circular	
	nw=2	nw=4	nw=2	nw=4
0	0,29	0,33	0,29	0,33
3	0,35	0,39	0,32	0,36
6	0,87	0,91	0,58	0,62
9	1,87	1,91	1,08	1,11

Hasil pengamatan tersebut meunjukkan sudut serang optimal dapat dilihat dari nilai tertinggi dari *lift* dan *drag*, yaitu pada sudut serang 6°. Sudut dengan nilai rasio tertinggi dapat dianggap sebagai sudut terbaik untuk terbang rudal. Gambar 4-3 juga menunjukkan bahwa penampang berbentuk elips akan memberikan L/D yang lebih besar dari penampang lingkaran. Sehingga bentuk penampang tersebut yang direkomendasikan.

Kendati tidak berpengaruh pada *drag* bentuk *radome* berpengaruh pada alokasi tempat bagi komponen yang akan ditempatkan di depan rudal. Hal ini dapat menjadi pertimbangan untuk tahapan desain berikutnya.



Gambar 4-3: Rasio L/D pada 4 sudut serang dan 2 penampang

## 5 KESIMPULAN

Telah dilakukan optimasi desain aerodinamis awal bagi rudal jelajah 2 tahap dengan diameter 0,36 m, panjang total 5,19 m, ketinggian terbang jelajah 17 m, dan kecepatan terbang jelajah 0,88 Mach. Hasil analisa menunjukkan bahwa untuk konfigurasi desain aerodinamis optimalnya adalah memiliki 2 sayap dengan panjang pangkal 1,18 m, tinggi 0,79 m, dan panjang ujung 0,71 m, bentuk penampang elips, and diterbangkan dengan sudut serang 6°. Disimpulkan juga bahwa bentuk *nose cone* tidak berpengaruh pada *drag* rudal, karena kecepatan jelajahnya subsonik.

Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk masukan di tahapan desain rudal anti-kapal selanjutnya, salah satunya untuk perhitungan sistem propulsi.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Universitas Pertahanan Indonesia, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Markas Besar TNI Angkatan Laut, Dinas Penelitian dan Pengembangan Angkatan Laut, dan kepada seluruh pihak yang telah

mendukung dan memberikan kontribusi pada penelitian ini.

## DAFTAR RUJUKAN

- Ahmad, A., Saad, M. R. A., Idris, A. Che, Rahman, M.R.A., Sujipto, S., 2016, "Aerodynamic Performance of Cruise Missile Flying Above Local Terrain" (IOP) Conf Series: Materials Science and Engineering, Vol. 152, No. 1.
- Dwiastuty, F., Bura, R. O., dan Triharjanto, R. H., 2019, "Konsep Desain Peluru Kendali untuk Kapal Cepat Rudal Indonesia" Jurnal Teknologi Persenjataan, Vol. 1, No. 1
- Fleeman, E. L. 2001. *Tactical Missile Design*. AIAA Education Series, ISBN: 1563474948.
- Guzelbey, I. H., Sumnu, A., Dogru, M. H., 2018. "A Review of Aerodynamic Shape Optimization for A Missile" The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics (EPSTEM), Vol. 4.
- Hardjono, S., 2018, "Analisa Ketinggian Gelombang yang Sesuai untuk Kapal Cepat Rudal 60 m di Perairan Indonesia", Warta Penelitian Perhubungan, Vol. 30, No. 1, Hal. 43 58.

- Maurice, A. F., 2009, "Aerodynamic Performance Predictions of SA-2 Missile Using Missile Datcom". *Master's Thesis*. US: Naval Postgraduate School.
- Siouris, G. M. 2004. *Missile Guidance and Control Systems*. New York: Springer.
- Tanil, C., Platin, B. E., dan G. Mahmutyaziciouglu, 2009, "External Configuration Optimization of Missile in Conceptual Design", Proceeding of AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference
- Indomiliter. 2015. "Exocet MM40 Block 3: Rudal Anti Kapal High Subsonic Andalan Korvet TNI AL", dalam <https://www.indomiliter.com>, diakses pada 16 Oktober 2018
- Indomiliter. 2011. "C-802: Rudal Penebar Maut Dari Cina", dalam <https://www.indomiliter.com>, diakses pada 16 Oktober 2018.
- Qihang, Z., Cheng, D., Qifan, Z., Naiming, Q., 2015. "The Trajectory of Anti-Ship Ballistic Missile Design and Simulation", 5<sup>th</sup> Intl. Conf. on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control