

PERANCANGAN DAYA GERAK PERAHU RAWA BERBASIS PROPULSI UDARA GUNA MENINGKATKAN KINERJA WAHANA PATROLI TNI AL

SWAMP BOAT AIR PROPULSION BASED POWER DESIGN TO IMPROVE VEHICLE PERFORMANCE OF TNI AL

A. Paripurna^a, Samudro^a, Suwahyu^a, R. Kharis^a, H. Suyanto^b

^a Pusat Teknologi Industri Pertahanan dan Keamanan
Deputi Teknologi Industri Rancang Bangun dan Rekayasa – BPPT
Gedung Hankam No. 256 Kawasan PUSPIPTEK - Serpong, Tangerang Selatan – 15314
Telp. 021-75791262 (ext. 322)
e-mail : suwahyu@bppt.go.id

^b Subdis Litbang Wahana, Dinas Penelitian dan Pengembangan TNI AL
Jl. Fatmawati No. 1, Pondok Labu, Jakarta Selatan
Telp. 021-7695041, Fax. 021-7695042

Abstrak

Perahu Rawa (*swamp boat*) sebagai wahana taktis patroli militer TNI-AL dapat digunakan di rawa-rawa, perairan dangkal maupun sungai pedalaman. Perahu dirancang berbahan *aluminium alloy* dengan struktur lambung dasar rata (*bottom flat*) dilengkapi sistem propulsi berbaling-baling udara sehingga mampu melaju dan olah gerak dengan kecepatan tinggi. Sebagai wahana operasi patroli militer, kinerja perahu rawa perlu ditingkatkan melalui perancangan daya gerak sistem propulsi berbasis perhitungan baling-baling udara dalam kondisi hambatan air pada rancang bangun perahu rawa. Dalam studi ini dihasilkan rancangan secara perhitungan numerik propulsi di air perahu rawa berukuran panjang 5,8 m dengan bobot 2 Ton, berkecepatan hingga 50 knot, dengan hambatan air 6198,34 N yang membutuhkan tenaga dorong 267,5 HP. Dari evaluasi perbandingan antara perhitungan daya dorong berbasis perhitungan propulsi memakai baling-baling udara (*engine propeller thrust*) pada efisiensi 80% dan berbasis perhitungan propulsi di air, maka untuk mencapai kecepatan 50 knot hanya membutuhkan tenaga dorong (*thrust*) 8921,92 N setara daya dorong 238,1 HP. Oleh karena itu, untuk mengoptimalkan daya dorong sistem propulsi sebagai penggerak perahu pada kecepatan operasi 20 knot yang disyaratkan pada *opsrec-spectec*, digunakan alternatif mesin diesel dengan tenaga 275 HP/2500-3000 RPM dilengkapi baling-baling udara berbahan komposit diameter 78". Hasil pengujian pelayaran perahu rawa di perairan terbatas menunjukkan hasil peningkatan kinerja kecepatan operasi 50%, dicapai pada putaran baling-baling 2362,5 RPM dengan prestasi kecepatan operasi perahu rawa mencapai 30 knot.

Kata kunci : Perahu rawa, Hambatan air, Daya dorong, Peningkatan kecepatan operasi

Abstract

Swamp boat as a vehicle of tactical military patrol of the Indonesian Navy can be used in the swamps, shallow waters or inland waterway. The design of Aluminum-alloy boat with a bottom flat hull structure is equipped with air propulsion and capable to navigate and maneuver with high speed. As a military patrol boat, the performance of swamp boat needs to be improved by the way of arrangement for propulsion power system-based air propulsion calculation on water resistance condition in engineering boat design. This study has produced a swamp boat design based numerical calculation of water propulsion, having particular of length about 5.8 m, weight of 2 Tons, speed of 50 knots, with water resistance of 6198.34 N that requires a thrust power of 267.5 HP. From the evaluation of thrust power calculation based-air propulsion using air propeller at the propeller efficiency of 80% and based-water propulsion, in order to obtain the speed of 50 knots and water resistance of 6198.34 N, the swamp boat has required the thrust power of 8921.92 N or equal to the thrust power of 238,1 HP. Hence, in order to optimize the thrust power of the propulsion system as a power engine of the swamp boat the required speed of higher than 20 knots, it is required to use a diesel engine of 275 HP/2500-3000 RPM and equipped with composite air propeller of 78" diameter. In limited water the sailing test results of swamp boat has shown that there has been an improvement of speed performance of about 50% at propeller revolution of 2362.5 RPM with the achievement speed of swamp boat up to 30 knots.

Key words : Swamp boat, Water resistance, Thrust power, Increasing Speed performance

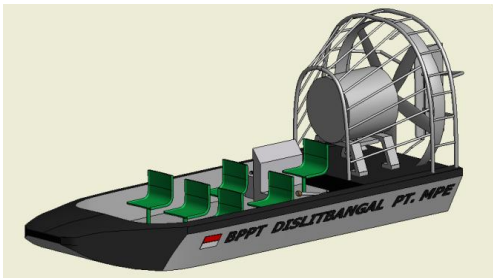
Diterima (received) : 27 September 2018 , Direvisi (revised) : 01 Maret 2019
Disetujui (accepted) : 28 Maret 2019

PENDAHULUAN

Tugas pokok TNI AL tidak terbatas pada tugas tempur dalam mempertahankan wilayah yuridiksi perairan Indonesia, namun ikut juga melaksanakan tugas lain di bidang sosial kemasyarakatan, antara lain dalam pelaksanaan tugas patroli keamanan, bantuan tanggap darurat, kegiatan *search and rescue* (SAR). Terkait dengan beragam dan beratnya kondisi medan penugasan terutama patroli pengamanan di perairan laut pulau terluar, di perbatasan antar negara maupun sungai dan rawa-rawa di pedalaman, maka target utama dalam tugas pengamanan wilayah perairan adalah penguasaan penuh medan tugas operasi oleh setiap komponen pelaksana tugas dalam hal ini adalah satuan regu patroli TNI AL¹⁾. Dengan pertimbangan aspek tersebut, maka perlu dilakukan dukungan rancang bangun sarana patroli perairan dangkal, rawa-rawa yang memadai. Salah satu sarana yang tepat adalah Perahu Rawa (*Swamp-Boat*) yang juga banyak dikenal umum sebagai wahana transportasi air baling-baling udara (*Air-boat*), sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1. Perahu rawa dengan bahan dasar *aluminium*

alloy, bentuk lambung berdasar datar (*flat bottom*) dilengkapi sistem propulsi pendorong baling-baling udara dan sumber tenaga penggerak utama mesin diesel maupun mesin bensin berputaran tinggi. Sistem propulsi udara memang sengaja digunakan dikarenakan medan operasi perairan yang dangkal dan banyak tumbuhan air di sekitarnya, sehingga perahu konvensional dengan baling-baling terendam air tidak bisa digunakan. Dalam kajian ini perahu rawa dirancang untuk memenuhi kebutuhan tugas regu patroli militer sesuai dengan *Technical Specification (Tecspect)* TNI AL²⁾. Perahu rawa tipe militer dirancang dapat mengangkut satu regu patroli Marinir TNI AL (6 personel) untuk kebutuhan 5 jam operasi berlayar dengan kecepatan dinas 20 knot. Sebagai sarana patroli di air, perahu rawa juga dilengkapi persenjataan kaliber 12,7 mm terpasang di haluan dan perlengkapan patroli dan munisi untuk 6 personel serta logistik dan bahan bakar yang cukup untuk operasi di perairan pedalaman. Untuk dapat mendukung kebutuhan operasi patroli militer, maka perahu rawa harus memenuhi kriteria mudah dimobilisasikan, mudah dalam pengoperasian maupun perawatan serta

ketersediaan suku cadang dan bahan bakar. Untuk kebutuhan tersebut, maka tenaga utama penggerak digunakan mesin diesel yang dapat berbahan bakar biodiesel serta lambung kapal dapat dengan mudah dibangun dan diperbaiki di bengkel galangan setempat. Khusus terkait dengan rancangan sistem propulsi perahu, maka pada kajian disini dilakukan perancangan daya gerak sistem propulsi udara berdasarkan pendekatan perhitungan propulsi di air untuk diacu dalam perhitungan propulsi udara serta hasilnya dilakukan analisis kinerja kecepatan dengan melakukan perbandingan antara data pengujian (*seatrial*) perahu rawa di perairan dalam kondisi muatan penuh dengan pemenuhan persyaratan sesuai spesifikasi teknik perahu dari TNI AL.



Gambar 1.
Rancangan awal 3D Perahu Rawa

BAHAN DAN METODE

Tabel 1.
Ukuran Utama Rancangan Perahu Rawa

No	Item Ukuran Utama	Ukuran
1	Platform length (Lbp)	5,80 m
2	Length over all (Loa)	6,00 m
3	Breadth over all (Boa)	2,40 m
4	Height	0,50 m
5	Max. Draft	0,25 m
6	Speed	20 knot
	Displacement	± 2,0 ton

Sebagai bahan utama pada kajian ini digunakan rancangan dasar prototip perahu rawa (*Swamp Boat*) untuk patroli melalui wacana perahu pembanding³⁾. Adapun ukuran utama rancangan perahu rawa ditampilkan pada Tabel 1. Sedangkan pada Tabel 2 ditampilkan konfigurasi pembanding berat perahu rawa LWT dan Tabel 3 ditampilkan komposisi beban muatan (*Pay load*) perahu rawa DWT.

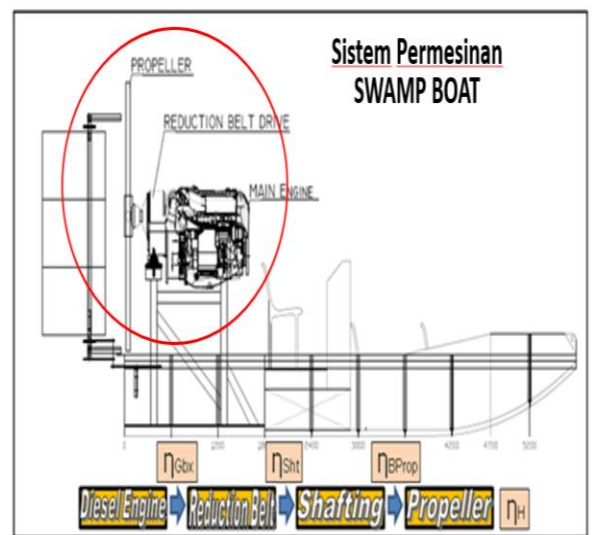
Tabel 2.
Data Pembanding Berat (LWT)

No	Jenis Beban	Berat (Kg)
1	Konstruksi lambung	418
2	Mesin & Sis. Transmisi	425
3	Sangkar baling-baling	57,5
4	Baling-baling	30
5	Tempat duduk	35
7	Pondasi mesin	76
8	Sistem Kemudi	20
9	Jatra dan Instrumen	25
10	Baterai & Alat Navcom	25
	Total	1111,5

Tabel 3.
Data Berat Muatan (DWT)

No	Jenis Beban	Berat (Kg)
1	6 Personel (@ 75 Kg)	450
2	Logistik & Munisi (5 jam)	50
3	Persenjataan 12,7 mm	20
4	Bahan bakar (100 lt)	80
	Total	600

Untuk rancangan sistem permesinan dan penggerak di perahu rawa meliputi *diesel engine, reduction gear, belt, shafting* dan *propeller* sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2⁴⁾.



Gambar 2.
Sistem permesinan perahu rawa

Tabel 4.
Data banding karakteristik mesin
penggerak perahu rawa

No	Karakteris tik mesin	Jenis Mesin			
		STRM	DTZ	CAT	VOLP
1	Engine type	SE286E 40	BF6M1 015 MC	C7B	D6-330
2	Output (Crank shaft) Kw (HP)	205 (279)	214 (287)	205 (275)	237 (322)
3	Rated speed (rpm)	4000	-	2400	3500
4	Full power speed range (rpm)	3500 – 4100	-	-	-
5	Cylinders	6 Inline	6 V- Engine	6 Inline	6 Com. Rail
6	Displace- men (T)	3.2 L	11.91 L	7.24 L	5.5 L
7	Bore (mm)	85	132	110	103
8	Stroke (mm)	94	145	127	110
9	Compressi on ratio	17:1	-	-	17.51:1
10	Max torque (nm)	570	285	-	-
11	At speed (rpm)	2550	1500	-	-
12	Max torque (lbs-ft)	420	-	-	-
13	Weight (kg)	340	1180	798	721
14	Weight per unit of power (kg/hp)	1.22	4.11	2.90	2.24
15	Dimension (l x w x h) (mm)	1090 x 649 x 754	1482 x 1316 x 1138	12218 x 919.6 x 916.9	1439 x 820 x 792

Catatan: STRM (Steyr Motors), DTZ (Deutz), CAT (Caterpillar), VOLP (Volvo penta). Data diolah dari berbagai sumber⁵⁾.

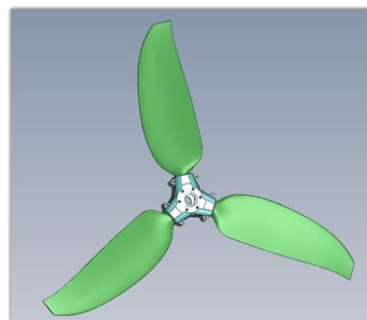
Serta spesifikasi teknis permesinan utama (*diesel engine*) ditampilkan pada Tabel 4. Sebagai pembandingan disini digunakan alternatif 4 data mesin diesel (*marine used*) dengan parameter teknis yang mendekati nilai ketentuan spesifikasi teknik perahu rawa⁵⁾. Adapun parameter utama yang berpengaruh dalam seleksi mesin yang digunakan adalah ukuran mesin, besar tenaga mesin dan RPM yang cukup, berat mesin yang ringan serta memungkinkan bahan bakar biodiesel yang digunakan.

Sedangkan tipe baling-baling udara yang digunakan untuk penggerak perahu rawa digunakan tipe *Whisper Tip 2* berdaun 3 terbuat dari bahan dasar material *composite* berpenguat *carbon spar*⁶⁾. Baling-baling tipe ini ringan, cukup kuat dengan diameter tidak melebihi lebar perahu, banyak digunakan sebagai propulsi perahu rawa. Adapun spesifikasi teknis baling-baling perahu rawa ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5.
Spesifikasi baling-baling perahu rawa

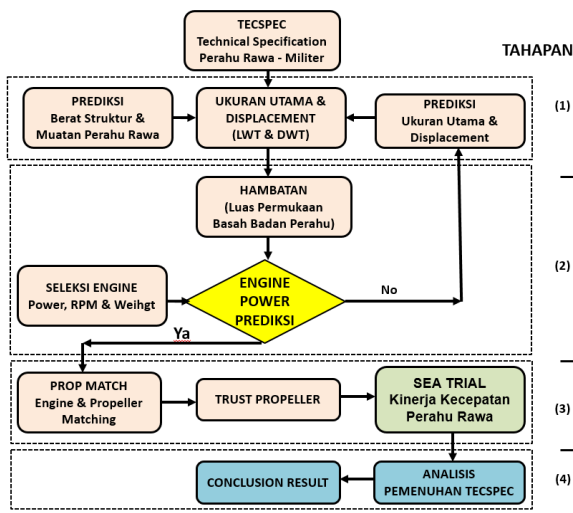
Item	Dimensi
Type	<i>Whisper Tip 2.0</i>
Standard	78"
Diameter	
Diameter Range	76" to 82"
HP Range	200 to 500 HP
Blade Width	12"
Engine	<i>Reduction drive</i>
Applications	<i>engines</i>
Max RPM	2700
Rotation	<i>Left or Right-Hand</i>
Configurations	<i>Air propulsion</i> <i>3 blade propeller</i>

Bentuk konfigurasi baling-baling udara tipe *Whisper Tip 2* berdaun 3 seperti ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3.
Bentuk baling-baling tipe *Whisper Tip 2*

Sedangkan metodologi pengkajian yang dilakukan guna mendapatkan daya gerak perahu rawa yang optimal digunakan empat tahapan kegiatan sebagai mana disampaikan pada diagram metodologi pada Gambar 4. Pengkajian rancangan dasar perahu rawa dilakukan berawal dari data dasar spesifikasi teknis (*techspec*) yang disyaratkan TNI AL. Dari sini dapat dilakukan dasar optimasi bentuk rancangan awal (*layout*) badan/lambung perahu rawa serta rencana lokasi penempatan sistem propulsi dan kerangka pengaman, sistem kemudi, sistem *steering*, logistik, persenjataan, nav-com dan tempat duduk 6 penumpang.



Gambar 4. Metodologi tahapan pengkajian

Dari rancangan ini sebagai Tahapan pertama dilakukan penentuan perkiraan ukuran utama serta total berat (*displacement*) perahu rawa. Total berat ini terdiri dari berat mati atau berat muatan (DWT) dan berat struktur (LWT). Hasil rancangan dasar perahu ini divalidasi untuk dapat memuat bobot personel dan seluruh perlengkapan operasi dan logistik. Tahapan kedua berdasarkan ukuran utama perahu, maka dilakukan perhitungan hambatan dan optimasi besar tenaga gerak perahu dengan menyesuaikan karakteristik baling-baling udara yang tersedia. Dalam optimasi perhitungan daya dorong sistem propulsi udara perahu, digunakan pendekatan perhitungan memakai basis parameter hidrodinamika dengan hambatan utama air. Sedangkan untuk hambatan udara dapat diabaikan karena dianggap bernilai kecil⁷⁾. Tahapan ketiga dilakukan pengujian prototip perahu di perairan (*seatrial*) dan dilakukan analisa data performansi daya dorong dan kecepatan perahu. Tahap ke empat

dilakukan kajian hasil pengujian (*seatrial*) perahu dibandingkan dengan ketentuan teknis (*tecspec*) yang disyaratkan TNI AL.

PEMBAHASAN

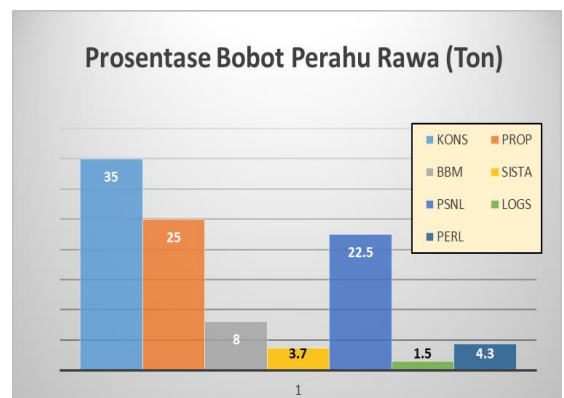
A. Perancangan Berat Total Perahu

Total bobot perahu rawa (*displacement*) terdiri dari komponen berat struktur dan permesinan - LWT (*Light Weight*) dan komponen berat muatan - DWT (*Dead Weight*). Komponen DWT termasuk berat seluruh personel dan perlengkapan perahu, logistik pengoperasian perahu selama 5 jam serta perlengkapan munisi senjata. Komponen utama estimasi berat LWT dan DWT ditampilkan pada Tabel 6. Estimasi total bobot perahu rawa sebesar ± 2000 Kg.

Tabel 6. Estimasi total berat perahu rawa

No	Komponen Berat	Ukuran
1	LWT (<i>Light weight</i>) :	1200 Kg
a.	Konstruksi lambung	700 Kg
b.	Sistem propulsi	500 Kg
2	DWT (<i>Dead weight</i>) :	800 Kg
a.	Bahan bakar 200 lt	160 Kg
b.	Persenjataan 12,7 mm	75 Kg
c.	Personel 6 org (@ 75 Kg)	450 Kg
d.	Logistik	30 Kg
e.	Perlengkapan <i>Steering</i> , Navcom, Akomodasi	85 Kg
	Total	2000 Kg

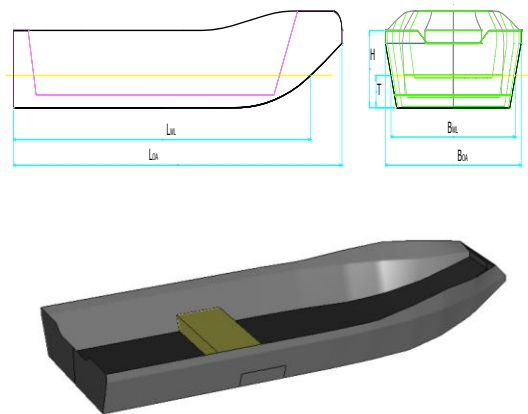
Distribusi persentase komponen berat badan perahu rawa (LWT) dan muatan (DWT) ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Prosentase bobot perahu rawa

B. Hambatan dan Tenaga Gerak

Dari perhitungan estimasi total bobot perahu (*displacement*) meliputi berat perahu dan muatan, dapat dirancang bentuk dasar perahu menggunakan perangkat lunak *Maxsurf* dan dapat ditetapkan ukuran utama dan sarat air. Selanjutnya dapat diestimasi kebutuhan berat material *aluminium* untuk struktur dan lambung yang digunakan. Dari data ini dapat dirancang gambar rencana umum perahu rawa lengkap dengan tempat duduk, pondasi mesin, kemudi dan sangkar mesin. Adapun bentuk dasar lambung perahu rawa ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6.

Rancangan bentuk (*lines plan*) perahu

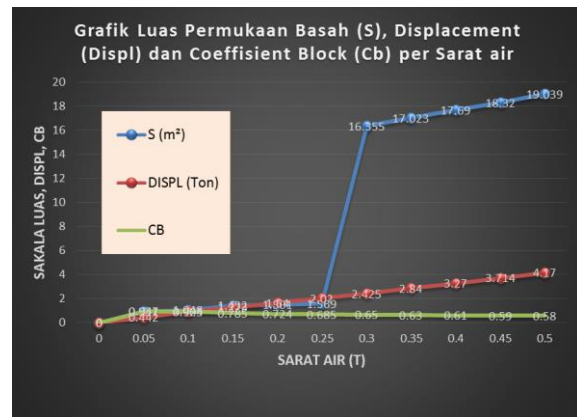
Berdasarkan rancangan bentuk lambung perahu dapat dilakukan perhitungan optimasi besar hambatan dan estimasi besar tenaga penggerak perahu yang diperlukan serta pemilihan mesin penggerak dan baling-baling udara untuk perahu rawa yang sesuai pada kecepatan operasi perahu. Total hambatan perahu (R_T)⁸⁾ dihitung sesuai rumus persamaan (1).

$$R_T = C_T \cdot 0,5 \rho \cdot S \cdot V^2 \quad (1)$$

- R_T : Hambatan total perahu (kgm/s^2)
- ρ : Massa jenis air laut (kg/m^3)
- S : Luas basah lambung perahu (m^2)
- V : Kecepatan operasi perahu (m/s^2)
- C_T : Koefisien total hambatan

Optimasi hambatan perahu dihitung dengan cara memvariasikan kedalaman sarat perahu rawa dan dipilih *Coefficient block* (C_b) lambung perahu yang paling optimum. Hal ini dimaksudkan untuk dapat mengakomodasi bobot total perahu (*displacement*) sehingga mampu memuat nilai LWT dan DWT perahu.

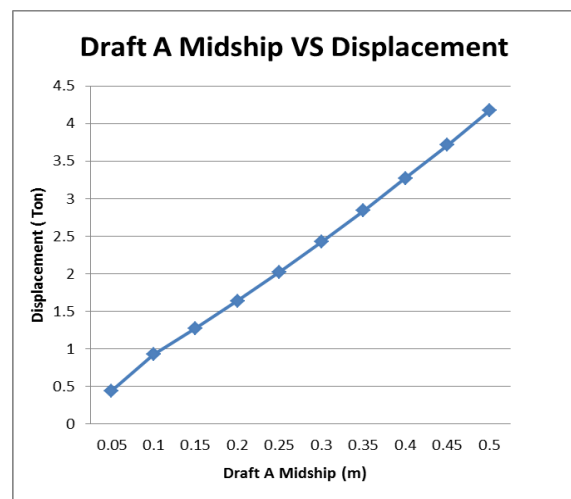
Sedangkan untuk perhitungan luas permukaan basah lambung perahu digunakan data luas basah lambung pada 10 garis air dimulai dari sarat air awal 0,05 m sampai dengan sarat 0,5 m dengan penambahan selisih kedalaman sebesar 0,05 m. Grafik hubungan nilai hambatan (R), luas permukaan basah lambung (S), *Displacement* ($Displ$) dan *Coefficient block* (C_b) perahu rawa ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7.

Grafik Hambatan fungsi luas permukaan dan Variasi sarat air dan *Coefficient block*

Dari pembacaan data grafik pada Gambar 7 didapatkan pada sarat air di tengah (*midship*) maksimum 0,5 m, nilai luas permukaan basah lambung perahu 19,039 m^2 , *Displacement* perahu 4,171 ton dan C_b lambung perahu 0,585. Sehingga nilai total optimasi hambatan perahu 3405,801 Kgm/s^2 (Newton).



Gambar 8.

Hubungan *Draft a Midship* dan *Displacement* (perhitungan Hidrostatika)

Dari data nilai hambatan perahu yang didapatkan, selanjutnya dapat ditentukan besar tenaga efektif penggerak yang dibutuhkan untuk mendorong perahu melaju (P_e). Perhitungan numerik secara empiris kebutuhan daya penggerak mengacu pada persamaan (2)⁹. Pada perhitungan ini nilai efisiensi optimum (*losses*), yaitu pertimbangan hilangnya tenaga penggerak akibat transmisi tenaga gerak perahu belum dimasukkan.

$$P_e = R_T \cdot V \quad (2)$$

Disini R_T (kgm/s^2) merupakan nilai hambatan total perahu rawa di air dan V (m/s^2) merupakan kecepatan dinas/ operasi perahu. Dengan mengacu *tecspec* perahu rawa, untuk kecepatan perahu 20 knot, nilai P_e dari persamaan (2) diperoleh sebesar 35011,639 Watt atau setara 47,78 HP. Menurut metode pendekatan Savitsky 10) untuk kapal cepat pada kondisi *planing hulls* nilai P_e mempunyai efisiensi $\pm 80\%$ karena hambatan air badan kapal berkurang, sehingga diperoleh nilai P_e sebesar 38,18 HP. Nilai ini tidak terpaut jauh jika dibandingkan dengan hasil perhitungan secara numerik berbasis perhitungan propulsi di air menggunakan perangkat lunak Maxsurf. Pada rancangan kecepatan 20 knot, nilai P_e mencapai 38,93 HP dan pada rancangan kecepatan perahu 50 knot nilai P_e mencapai 267,3 HP seperti hasil perhitungan yang ditampilkan pada Tabel 7. Untuk mendapatkan besar tenaga penggerak total yang diperlukan dengan pendekatan perhitungan propulsi di air nilai P_e harus dikalikan dengan total efisiensi mekanis transmisi (η_H) sehingga akan didapatkan nilai optimum daya mesin perahu. Namun dalam kajian di sini pada perahu rawa akan digunakan sistem propulsi baling-baling udara dengan pendekatan perhitungan di udara. Untuk itu perlu dihitung gaya dorong (*thrust*) sistem propulsi udara yang akan digunakan, mendorong perahu rawa melaju dengan kecepatan 20 knot.

Tabel 7.
Hasil Perhitungan Numerik Hambatan dan Tenaga gerak

Kecepatan	Hambatan	Efisiensi 80% (Savitsky)
Knot	Newton	Power (HP)
0	--	--
1,25	--	--
2,5	--	--

3,75	--	--
5	--	--
6,25	--	--
7,5	--	--
8,75	--	--
10	2009,55	17,33
11,25	2136,64	20,73
12,5	2206,8	23,79
13,75	2232,24	26,47
15	2233,53	28,89
16,25	2227,87	31,22
17,5	2226,35	33,6
18,75	2235,17	36,14
20	2257,34	38,93
21,25	2294,07	42,04
22,5	2345,52	45,51
23,75	2411,37	49,39
25	2491,01	53,7
26,25	2583,79	58,49
27,5	2689	63,77
28,75	2806	69,57
30	2934,17	75,91
31,25	3072,98	82,81
32,5	3221,93	90,3
33,75	3380,59	98,39
35	3548,57	107,1
36,25	3725,53	116,46
37,5	3911,16	126,48
38,75	4105,21	137,18
40	4307,43	148,58
41,25	4517,62	160,7
42,5	4735,58	173,56
43,75	4961,14	187,17
45	5194,17	201,56
46,25	5434,52	216,75
47,5	5682,06	232,75
48,75	5936,71	249,58
50	6198,34	267,26

Tabel 8.
Hambatan dan Engine – Propeller Thrust

Speed	Putaran Prop.	Hambatan	Eng Prop Thrust 80 % Eff
Knot	RPM	Newton	Newton
0	0	0	0
1,25	600	0	0

2,5	650	0	0
3,75	700	0	0
5	750	0	0
6,25	800	0	0
7,5	850	0	0
8,75	900	0	0
10	950	2009,55	44609,60
11,25	1000	2136,64	39652,98
12,5	1500	2206,8	35687,68
13,75	2000	2232,24	32443,34
15	2150	2233,53	29739,73
16,25	2200	2227,87	27452,06
17,5	2250	2226,35	25491,20
18,75	2300	2235,17	23791,79
20	2350	2257,34	22304,80
21,25	2400	2294,07	20992,75
22,5	2450	2345,52	19826,49
23,75	2500	2411,37	18782,99
25	2550	2491,01	17843,84
26,25	2600	2583,79	16994,13
27,5	2650	2689,00	16221,67
28,75	2700	2806,00	15516,38
30	2700	2934,17	14869,87
31,25	2700	3072,98	14275,07
32,5	2700	3221,93	13726,03
33,75	2700	3380,59	13217,66
35	2700	3548,57	12745,60
36,25	2700	3725,53	12306,10
37,5	2700	3911,16	11895,89
38,75	2700	4105,21	11512,15
40	2700	4307,43	11152,40
41,25	2700	4517,62	10814,45
42,5	2700	4735,58	10496,38
43,75	2700	4961,14	10196,48
45	2700	5194,17	9913,24
46,25	2700	5434,52	9645,32
47,5	2700	5682,06	9391,49
48,75	2700	5936,71	9150,69
50	2700	6198,34	8921,92

Dengan diambil nilai gaya hambatan perahu rawa berbasis perhitungan propulsi di air (*Savitsky method*), maka nilai gaya dorong (*thrust*) baling-baling udara perahu rawa berbasis perhitungan sistem propulsi udara harus setara dengan nilai hambatan. Untuk itu dalam iterasi perhitungan ini digunakan jenis *propeller* dengan spesifikasi teknik sebagaimana pada Tabel 5. Adapun hasil

perhitungan *Propeller and Engine thrust* ini ditampilkan pada Tabel 8.

C. Pemilihan *Propeller* Udara

Pemilihan baling-baling *Whisper Tip*⁵⁾ sebagai tipe baling-baling udara yang digunakan pada perahu rawa didasarkan pada spesifikasi teknis baling-baling yang ditampilkan pada Tabel 5. Bentuk bilah baling-baling memiliki profil sangat tajam dengan tip penyapu yang agresif serta mempunyai kinerja unggul. Desain ini akan mengurangi gaya hambatan (*drag*) dan kebisingan akibat putaran baling-baling, sehingga baling-baling dapat menghasilkan gaya dorong (*propeller thrust*) yang optimum, sehingga akan dapat menghemat kebutuhan bahan bakar. Baling-baling yang digunakan adalah baling-baling udara dirancang sebagai sistem propulsi untuk perahu rawa (*air boat/ swamp boat*) dan dipasang di atas permukaan air. Sistem propulsi ini mampu memberikan gaya dorong (*thrust*) untuk menggerakkan badan perahu maju dengan kecepatan operasi rata-rata ≥ 20 knot. Untuk perhitungan gaya dorong baling-baling T_p (*propeller thrust*) digunakan rumusan pada persamaan (3) dan (4) dan tenaga pendorong pada poros penggerak P_s (*shaft power*) digunakan rumusan pada persamaan (5) dan (6)¹¹⁾.

$$T_p = C_T \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4 \quad (3)$$

$$C_T = (J = V/nD, p/D, \text{ tipe prop}) \quad (4)$$

C_T : koefisien pendorong
 ρ : Densitas udara (kg/m³)
 n : putaran baling-baling (rpm)
 D : diameter baling-baling (m)
 V : kecepatan maju baling-baling (m/s)
 p : pitch baling-baling (m)

$$P_s = C_p \cdot \rho \cdot n^3 \cdot D^5 / 550 \quad (5)$$

$$C_p = (J = V/nD, p/D) \quad (6)$$

C_p : koefisien tenaga

Disini besaran nilai *trust propeller* merupakan fungsi dari nilai *pitch*, bentuk dan diameter bilah baling-baling, putaran baling-baling, densitas udara dan koefisien pendorong (*thrust Coefficient*) serta *pitch* - kecepatan maju (*forward velocity*). Sedangkan nilai perhitungan besar tenaga pendorong pada poros penggerak merupakan fungsi dari jumlah putaran, diameter bilah baling-baling, densitas udara, koefisien tenaga (*power coefficient*), *pitch* -

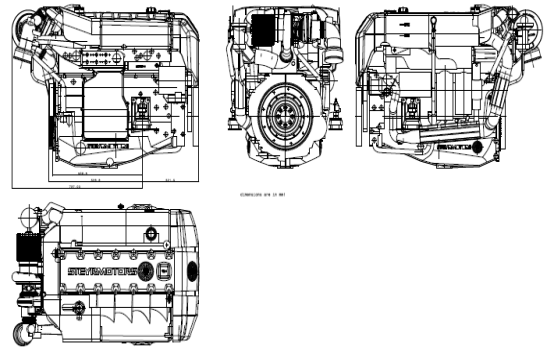
kecepatan maju (*forward velocity*) pada efisiensi baling-baling 80 %¹¹). Untuk nilai daya mesin penggerak didapatkan dari nilai tenaga dorong poros penggerak (P_s) dikalikan nilai total efisiensi mekanik transmisi daya (η_H). Pada simulasi perhitungan gaya dorong baling-baling T_p (*propeller thrust*) dan tenaga penggerak perahu rawa berbasis sistem propulsi memakai baling-baling udara, disini digunakan data perhitungan numerik hingga rancangan kecepatan maksimum 50 knot. Hal ini dimaksudkan dengan mempertimbangkan adanya penurunan *losses* tenaga pada baling-baling seiring dengan meningkatnya kecepatan perahu rawa. Terlihat bahwa untuk mencapai rancangan kecepatan perahu 20 knot, nilai RPM baling-baling masih mencapai 2350 atau sekitar 80% dari maksimum RPM sesuai spesifikasi baling-baling. Oleh karenanya untuk mendapatkan nilai optimum daya gerak perahu rawa, maka rancangan kecepatan perahu rawa masih optimis dapat dicapai hingga 50 knot pada maksimum RPM baling-baling.

Dengan didapatkan nilai optimum kebutuhan daya mesin penggerak, berikutnya dapat ditentukan besar dan jenis mesin penggerak sesuai kebutuhan pemakaian di perahu.

D. Penetapan Daya Penggerak

Berdasarkan acuan hasil perhitungan hambatan (*resistance*) dan kebutuhan optimum tenaga gerak pendorong perahu rawa untuk dapat mencapai kecepatan operasi ≥ 20 knot, maka dilakukan seleksi teknis data mesin yang tersedia. Dari dasar kajian data ke-4 alternatif mesin perahu rawa seperti tercantum pada Tabel 4, terlihat bahwa kemampuan teknis mesin diesel *Steyr Motors Type SE286E40* memiliki kelebihan penilaian dibandingkan dengan ke 3 (tiga) mesin lainnya⁴). Dengan besar tenaga mesin yang relatif hampir sama, namun ditinjau dari kecilnya rasio berat per unit tenaga mesin, menunjukkan mesin *Steyr Motor* jauh lebih ringan dari pada 3 mesin lainnya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. Penilaian ini sangat penting terkait efektifitas daya gerak serta pengaturan titik berat perahu karena peletakan mesin yang ditempatkan diatas badan perahu. Hal ini sangat berpengaruh pada kondisi stabilitas statis perahu rawa. Disamping itu dengan tenaga mesin yang sama mesin *Steyr Motor* memiliki ukuran lebih kecil. Mesin dapat menggunakan bahan bakar biodiesel yang tidak terlalu sulit didapatkan di daerah pedalaman. Pada

Gambar 7 ditampilkan bentuk Mesin *Steyr* yang digunakan pada perahu rawa dengan ukuran utama (l x w x h) : 1090 x 649 x 754 (mm) .

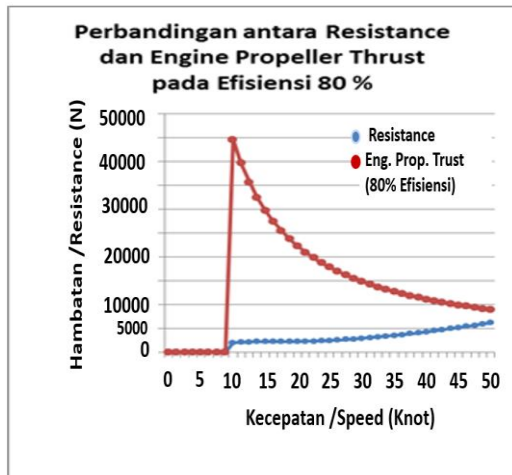


Gambar 9.
Mesin *Steyr Motors* Tipe SE286E40

Dengan data daya dorong yang sepadan baik melalui perhitungan berbasis propulsi di air maupun berbasis propulsi udara pada perahu rawa dengan hambatan 6198,34 N (kgm/s^2) dan rancangan kecepatan optimal maksimum 50 knot, maka selanjutnya dapat dirancang daya dorong perahu rawa untuk ke dua jenis sistem propulsi. Pada penggunaan sistem propulsi air dibutuhkan mesin penggerak sebesar 267,3 HP. Untuk menggunakan sistem propulsi udara dengan basis perhitungan gaya dorong baling-baling udara berefisiensi 80%¹¹), dibutuhkan tenaga gerak pendorong $P_s = 8921,92$ N, setara dengan kebutuhan daya mesin penggerak sebesar 238 HP. Pada perhitungan di sini digunakan nilai efisiensi maksimal *mechanical power transmission losses* (50 %) pada sistem propulsi perahu rawa yang terdiri dari komponen sistem transmisi *vertical belt transmission, reduction gear* dan *bearing*^{5,6}). Untuk selanjutnya dapat ditetapkan jenis mesin diesel penggerak perahu dengan kebutuhan daya berkisar $\pm 238 - 268$ HP. Dipilih mesin diesel yang tersedia dengan daya 279 HP. Dari hasil perhitungan numerik berbasis sistem propulsi udara dapat digambarkan grafik perbandingan nilai hambatan dan gaya dorong mesin ke baling-baling (*engine propeller thrust*) dengan nilai efisiensi baling-baling 80%, sebagaimana pada Gambar 10.

Dari grafik hubungan antara nilai capaian kecepatan, hambatan yang terjadi serta *engine-propeller thrust* pada perahu rawa dalam perhitungan numerik menunjukkan bahwa pada kecepatan sekitar 10 knot, perahu mulai bergerak, rasio nilai hambatan mulai naik mencapai 2000 N dan *engine propeller thrust* sudah mencapai 44000 N atau 4,5%. Namun rasio ini menurun seiring

dengan peningkatan kecepatan perahu. Hal ini terkait dengan pengaruh grafik karakteristik *lossess* parameter gaya dorong (*propeller thrust*) baling-baling¹²⁾.



Gambar 10. Hubungan hambatan (*Resistance*) dan gaya dorong 80% (*Engine - Propeller Thrust*) pada kapal rawa

Dengan didapatkan nilai optimum daya gerak perahu rawa secara numerik, maka untuk pembuktian konsep desain (*proof of design concept*) dilakukan pembangunan dan pengujian pelayaran prototip perahu rawa di lapangan. Dalam kegiatan pengujian ini digunakan prototip perahu rawa hasil implementasi kegiatan kerjasama TNI-AL, BPPT dan galangan BUMS-MPE¹²⁾. Pelaksanaan validasi hasil optimasi daya gerak perahu rawa, dilakukan melalui serangkaian pengujian berlayar (*seatrial*) di perairan terbatas sesuai ketentuan *osreq-spectec* TNI AL.

E. Pengujian pelayaran Perahu Rawa



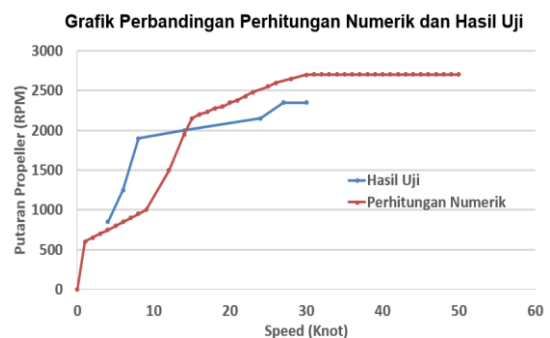
Gambar 11. Pengujian perahu rawa

Pengujian perahu rawa dilaksanakan dengan kondisi beban muatan (*payload*) disesuaikan dengan ketentuan untuk operasi

militer dengan pengawakan 6 orang (1 awak juru mudi, 1 orang penembak dan 4 orang prajurit patroli)¹³⁾. Gambar 11 menampilkan pengujian berlayar perahu rawa dan hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Pengujian Berlayar

Durasi	Eng. Rpm	Prop. RPM	Action %MCR	Speed (knot)
5min 6sec	1200	810	25%	4,3
4min 44sec	1200	810	25%	4,4
3min 35sec	1900	1282,5	25%	5,8
4min 8sec	1900	1282,5	50%	5,4
2min 42sec	2800	1890	50%	8,1
2min 58sec	2800	1890	50%	7,4
1min 46sec	3000	2025	66%	14,6
2min 34sec	3000	2025	66%	13
1min 4sec	3200	2160	75%	25
1min 47sec	3200	2160	75%	25
50sec 58sec	3500	2362,5	100%	27 30



Gambar 12. Perbandingan data pengujian numerik dan *seatrial* untuk putaran baling-baling (RPM) dan kecepatan perahu (knot)

Pada Gambar 12 ditampilkan grafik perbandingan antara putaran baling-baling dan kecepatan perahu rawa berdasarkan data dari perhitungan numerik daya gerak dan data hasil pengukuran pada perahu saat di lapangan. Dari data ini terlihat grafik peningkatan putaran baling-baling perahu seiring dengan peningkatan kecepatan

perahu yang menunjukkan rata-rata arah yang proposional. Pengujian kecepatan perahu di lapangan disudahi sampai kecepatan 30 knot, mengingat faktor keselamatan operasional perahu dengan kondisi lintasan perahu di area perairan yang terbatas. Dengan hasil uji pelayaran ini terlihat capaian kinerja kecepatan perahu rawa telah melebihi persyaratan kecepatan *opsrec* yang ditetapkan 20 knot

SIMPULAN

Optimasi rancangan Perahu Rawa untuk pemenuhan ketentuan *opsreq* militer menghasilkan ukuran utama Panjang x Lebar x Sarat (5,8 x 2,1 x 0,25) m dengan bobot maksimum (*displacement*) sebesar 2000 Kg. Hasil simulasi perhitungan numerik berbasis kondisi propulsi di air, pada kecepatan 20 knot, besar gaya hambatan perahu rawa mencapai 2257,34 N dan pada kecepatan 50 knot, gaya hambatan perahu mencapai 6198,34 N dengan kebutuhan daya dorong perahu sebesar 38,9 HP dan 267,3 HP. Hasil simulasi perhitungan numerik berbasis kondisi propulsi udara dengan nilai hambatan air perahu 2257,34 N, kecepatan 20 knot dan nilai hambatan 6198,34 N, pada rancangan kecepatan 50 knot membutuhkan besar gaya dorong baling-baling (*Engine propeller thrust*) pada efisiensi 80% sebesar 22304,80 N dan 8921,92 N. Berdasarkan hasil perhitungan simulasi untuk kebutuhan minimum daya gerak pendorong perahu rawa pada kecepatan sampai 50 knot perlu sebesar \pm 238 - 268 HP dan dari hasil kajian teknis spesifikasi mesin, maka digunakan alternatif sistem propulsi penggerak perahu berupa mesin diesel *Steyr Motors Type SE286E40* dengan daya 275 HP dan baling-baling udara *Whirlwind type Whisper Tip 2.0*, diameter 78". Hasil pencapaian kinerja kecepatan operasi perahu rawa berdasarkan perhitungan simulasi numerik menggunakan optimasi pemakaian data teknis mesin dan baling-baling yang dipilih, didapatkan rancangan kecepatan perahu rawa mampu mencapai 50 knot. Dibandingkan dengan kecepatan operasi 20 knot yang ditetapkan pada *opsreq-spectec*, presentase peningkatan rancangan kecepatan perahu rawa mencapai 150%. Berdasarkan hasil pengujian perahu rawa di lapangan didapatkan data pengukuran putaran baling-baling perahu mencapai 2362,5 RPM pada capaian kecepatan sampai 30 knot. Dari hasil uji ini kinerja kecepatan perahu sudah mampu mencapai peningkatan 50% dari kecepatan yang dipersyaratkan 20 knot pada *opsrec-spectec* TNI AL.

UCAPAN TERIMA KASIH

"Perancangan Daya Gerak Perahu Rawa berbasis propulsi udara guna meningkatkan kinerja wahana patroli TNI AL", merupakan hasil kajian teknis, bagian dari program kegiatan Kerjasama teknis, Rancang Bangun Prototip *Swamp Boat* didukung oleh Dislitbang TNI AL, PTIPK BPPT dan PT Mega Perkasa Engineering tahun 2013. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dr. Ir. Erzi A. Gani, ME, mantan Deputi Ka. BPPT Bid. TIRBR, yang telah mendukung sepenuhnya pelaksanaan kegiatan kerjasama ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Subagja, D., *Kuasai medan untuk menangkan pertempuran di laut*, Buletin Hidro-Oceanografi, Dishidros TNI AL, Ed. 02/XIII, 2012.
2. Dislitbang TNI AL, *Technical Specification (Tecspect) Rancang Bangun Perahu Rawa (Swamp Boat)*, 2013 (Tidak dipublikasikan).
3. Lepek, A.P., *Optimization of an Air boat Design*, The Lee Honors Collage, Thesis, Western Michigan University, USA, 2012.
4. Dumment R., *Design of Propulsion Systems for High-speed Craft The Use of Airboat in Ice and Water Rescue Emergencies*. Fire Eng., pp. 113-126, 2004.
5. Data berbagai sumber : Commercial Marine Engine brochures / web-side.
6. Whirlwind Propellers, Composite Airboat Propeller Instruction, https://whirlwindpropellers.com/airboats/wp-content/uploads/2015/05/WhirlWind_Composite_Airboat_Propeller_Instructions_112013.pdf, diakses April 2018.
7. Insel, M. and Molland, A.F., *An Investigation into the Resistance Components of High Speed Displacement Catamarans*. Meeting of the Royal Institution of Naval Architect, UK, 1991.
8. Sv. Aa. Harvald, *Tahanan dan Propulsi Kapal* (buku terjemahan), Airlangga University Press, Surabaya, 1991.
9. Basic Principle of Ship Propulsion, <https://spain.mandieselturbo.com/docs/librariesprovider10/sistemas-propulsivos-marinos/basic-principles-of-ship-propulsion.pdf?sfvrsn=2>, diakses April 2018 .
10. Savitsky, D., *Hydrodynamic design of planning hulls*, Marine Technology Journal, Vol 1, No. 1, p. 71-95, SNAME-USA, Oct 1964.

11. Garner, W.B., *Model Airplane Propeller, Air-Propeller research document*, wbgarner08@verizon.net, March 2009.
12. Pusat Teknologi Industri Pertahanan dan Keamanan-BPPT, *Laporan Rancang bangun kapal swampboat*, 2013 (Tidak dipublikasikan).
13. Paripurna, A., Samudro, Suwahyu, Noor F.R., *Pengujian Berlayar Prototip Kapal Patroli Rawa – TNI AL Untuk Pemenuhan Standar Operasi Militer*, Proceeding Seminar 12th AMTeQ-LIPI, GWB - Puspiptek, Serpong, Tangsel, 12 Oktober 2017.