



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Analisa Penerapan Diesel Waterjet Propulsion (DWP) Dan Electrical Waterjet Propulsion (EWP) Ditinjau Dari Konsumsi BBM Pada Kapal Patroli Imigrasi 14 Meter

Afdhal Alfendry<sup>1)</sup>, Untung Budiarto<sup>1)</sup>, Kiryanto<sup>1)</sup>  
Laboratorium Mesin Kapal

<sup>1)</sup>Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email: [alfendryafdhal@gmail.com](mailto:alfendryafdhal@gmail.com), [untungbudiarto@yahoo.com](mailto:untungbudiarto@yahoo.com), [kiryantodst@yahoo.com](mailto:kiryantodst@yahoo.com)

### Abstrak

Ada berbagai pertimbangan dalam merancang sebuah kapal, yakni pertimbangan dari segi teknis dan ekonomis yang saling berkaitan satu sama lain dan harus diperhitungkan secara matang untuk menciptakan sebuah kapal yang unggul dari segi teknis namun tidak mengabaikan segi ekonomisnya. Konsumsi bahan bakar minyak (BBM) pada kapal termasuk salah satu aspek pertimbangan dari segi ekonomis yang berkaitan dengan biaya operasional kapal. Kapal patroli berfungsi sebagai kapal pengawas, baik di daerah pelabuhan maupun di lautan lepas. Ditinjau dari fungsinya kapal patroli haruslah memiliki *performance* yang baik dalam menjalankan tugasnya. Pada penelitian ini membahas bagaimana penerapan *Diesel Waterjet Propulsion (DWP)* dan *Electrical Waterjet Propulsion (EWP)* serta membandingkan konsumsi BBM masing-masing sistem propulsi pada kapal patroli imigrasi 14 meter. *Engine-Waterjet Matching* dilakukan untuk mendapatkan efisiensi yang optimal antara penggerak utama dengan *waterjet*. Untuk DWP memakai *gearbox* dengan *ratio* 1:1,53 dan EWP dengan *ratio* 1:1,0205. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan EWP memberikan efisiensi BBM sebesar 4,633 % dibandingkan DWP pada kecepatan 17 - 28 knots, dan pada kecepatan 11 - 16 knots penerapan DWP memberikan efisiensi sebesar 26,04 % dibandingkan dengan EWP. Konsumsi BBM EWP lebih hemat daripada DWP pada saat kecepatan maksimum, dinas dan pengintaian.

Kata Kunci : *Waterjet, engine-waterjet matching*, sistem propulsi, BBM

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Saat ini penggunaan bahan bakar minyak (BBM) pada alat transportasi merupakan sebuah topik permasalahan yang sering dibahas, karena semakin banyaknya penggunaan BBM yang dapat mengakibatkan kelangkaan BBM. Telah banyak penelitian-penelitian yang dilakukan guna mencari alternatif lain penggunaan BBM tersebut, salah satu contohnya yakni dengan menggunakan energi listrik, dimana energi listrik merupakan energi yang dapat diperbarui. Oleh sebab itu muncullah ide untuk membandingkan penerapan *Diesel Waterjet Propulsion* dengan *Electrical Waterjet Propulsion* dari segi pemakaian bahan bakar minyak (BBM) nya.

Pada dekade terakhir ini 99% kapal beroperasi dengan menggunakan mesin diesel sebagai penggerak utamanya, hingga saat ini *Diesel Waterjet Propulsion* masih mendominasi, karena efisiensi tinggi, kehandalan dan operasionalnya jangka panjang. *Electrical Waterjet Propulsion* pada saat ini banyak dikembangkan pada propulsi kapal karena memiliki performa yang bagus dalam mobilitas, keamanan, keandalan, tingkat otomatis dan perlindungan lingkungan. Keberhasilan dari sistem propulsi ini tergantung pada sistem kontrolnya pada alat penggerak, generator dan *power converter*. Sistem ini sangat cocok untuk kapal yang membutuhkan *maneuver* yang tinggi [1].

### 1.2. Perumusan Masalah

Dari uraian diatas dapat dibuat rumusan masalah dalam mengerjakan tugas akhir ini. Analisa akan dilakukan untuk membandingkan penerapan *Diesel Waterjet Propulsion (DWP)* dan *Electrical Waterjet Propulsion (EWP)* secara teknis serta konsumsi BBM dari kedua sistem propulsi tersebut pada kapal patroli imigrasi 14 meter. Dari analisa diharapkan akan didapatkan sistem propulsi yang efisien dari segi pemakaian BBM dengan tidak mengabaikan performa dari kapal tersebut.

### 1.3. Batasan Masalah

Dari permasalahan yang harus diselesaikan diatas maka perlu adanya pembatasan masalah serta ruang lingkupnya agar dalam melakukan analisa nantinya tidak melebar dan mempermudah dalam melakukan analisa, batasan tersebut yaitu : Kapal yang dianalisa adalah kapal patroli imigrasi 14 meter dengan tipe lambung *hard chine planing hull / V hull* dan menggunakan propulsor *waterjet*.

- LOA : 14,10 m
- LWL : 12,00 m
- B : 3,2 m
- H : 1,90 m
- T : 0,75 m
- Vs : 25 knots
- Vs max : 28 knots

Untuk menganalisa DWP tetap menggunakan data kapal yang asli. Analisa hambatan kapal dilakukan dengan menggunakan software *Maxsurf Resistance* dan perhitungan manual sebagai validasi. Menghitung biaya konsumsi BBM sesuai dengan harga BBM terkini.

### 1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan sistem propulsi yang efektif diantara DWP dan EWP untuk kapal patroli imigrasi 14 meter. Diharapkan dengan analisa tersebut didapatkan sistem propulsi yang efisien dari segi pemakaian BBM dengan tidak mengabaikan performa dari kapal patroli imigrasi 14 meter tersebut.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Kapal Patroli

Kapal patroli merupakan kapal berjenis kapal cepat. Kapal cepat adalah kapal yang mempunyai range angka froude 0,3 s/d 1,5 atau kapal yang memiliki angka perbandingan  $V/V_L$  . 1,0 - 5,0. Secara garis besar kapal cepat mempunyai 2 (dua) macam bentuk yaitu *displacement hull (round bilge)* dan *planing hull*

(*hard chine*) dengan B (lebar garis air) serta LCB (letak titik tekan terhadap *midship*) yang bervariasi, diperoleh *performance* kapal yang berbeda-beda [2].

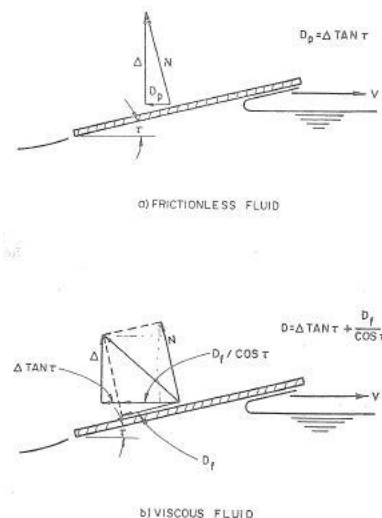
### 2.2. Hambatan Kapal

Dalam jurnal *Hydrodynamic Design of Planing Hulls*, Daniel Savitsky memberikan persamaan sebagai berikut [3]:

$$R_T = \Delta \tan \tau + \frac{\rho V^2 \lambda b^2 C_f}{2 \cos \beta \cos \tau} \quad (1)$$

Dimana :

- $R_T$  = Hambatan Total (lbf)
- $\Delta$  = Displacement (lb)
- $\rho$  = Massa jenis air laut (lb/ft<sup>3</sup>)  
= 63,989 lb/ft<sup>3</sup>
- $V$  = Kecepatan kapal (ft/s)
- $\lambda$  = *Mean wetted length-beam ratio*
- $b$  = Lebar kapal (ft)
- $C_f$  = Koefisien gesek
- $\beta$  = Sudut *deadrise* (deg)
- $\tau$  = Sudut *trim* (deg)



Gambar 1. Komponen hambatan *planing hull*

Daya dorong efektif (EHP) adalah besarnya daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal dengan kecepatan tertentu. Suatu sistem propulsi yang menghasilkan daya dorong harus mampu mengatasi beban tahanan aliran agar kecepatan yang direncanakan dapat tercapai. Persamaan daya dorong efektif adalah :

$$EHP = \frac{R_T \times V_s}{550} \quad (2)$$

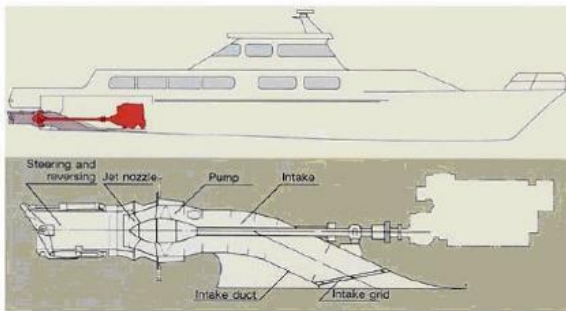
Dimana :

- EHP = *Effective Horse Power* (hp)
- $R_T$  = Hambatan Total (lbf)

$V_s$  = Kecepatan kapal (ft/s<sup>2</sup>)

### 2.3. Waterjet

Sistem propulsi waterjet pada umumnya terdiri dari sistem saluran dan sistem pompa. Pada sistem saluran berfungsi untuk mengarahkan laju aliran dari lingkungan ke pompa dan dari pompa dikeluarkan kembali ke lingkungan. Sedangkan untuk sistem pompa berfungsi untuk mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga hidrolis. Pada sistem waterjet memiliki komponen-komponen utama dalam pengoperasiannya, komponen-komponen tersebut meliputi sistem transmisi dan mesin penggerak, pompa, *thrust* nosel yang dilengkapi dengan *deflector*, *thrust vectoring*, mekanisme pembalik, *diffuser*, inlet dan *ducting* [4].



Gambar 2. Sistem propulsi waterjet

Besarnya daya pompa yang dibutuhkan *waterjet* untuk menggerakkan kapal dengan kecepatan tertentu dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$P_p = \frac{\rho \times g \times Q_j \times H}{\eta_p} \quad (3)$$

Dimana :

- $P_p$  = Daya pompa (W)
- $\rho$  = Massa jenis air laut (kg/m<sup>3</sup>)  
= 1025 kg/m<sup>3</sup>
- $Q_j$  = Kapasitas aliran pompa (m<sup>3</sup>/s)
- $H$  = Head pompa (m)
- $\eta_p$  = Efisiensi pompa  
= 0,9 – 1,0

Hambatan total kapal harus dapat diatasi oleh sistem propulsinya. Kemampuan sistem propulsi menyeluruh diperhitungkan sebagai *overall propulsive coefficient* (OPC) yang ditinjau dari energi yang diberikan penggerak pompa, kerugian transmisi sampai pada keluaran daya efektif yang berguna untuk menggerakkan kapal. Sehingga OPC untuk sistem propulsi *waterjet* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [5]:

$$OPC = \eta_{j_{aktual}} \times \eta_p \times \eta_{rr} \times \eta_T (1 - t) \quad (4)$$

Dimana :

$\eta_{j_{aktual}}$  = Efisiensi jet aktual, yang dapat dicari menggunakan rumus

$$\frac{1}{1 - w} \times \frac{2\mu(1 - \mu)}{(1 + \psi) - (1 - \zeta) \times \mu^2 + \frac{2gh_j}{V_j^2}} \quad (5)$$

- $\eta_p$  = Efisiensi pompa
- $\eta_{rr}$  = Efisiensi *relative rotative*
- $\eta_T$  = Efisiensi transmisi
- (1-t) = Faktor deduksi gaya dorong

Kavitasi merupakan fenomena perubahan fase uap dari zat cair yang sedang mengalir, karena tekanannya berkurang hingga di bawah tekanan uap jenuhnya. Terjadinya kavitasi ditunjukkan oleh beberapa tanda, seperti timbulnya suara bisik dan getaran, turunnya kurva head-kapasitas dan efisiensi, dan kerusakan pada permukaan logam dimana kavitasi berlangsung.

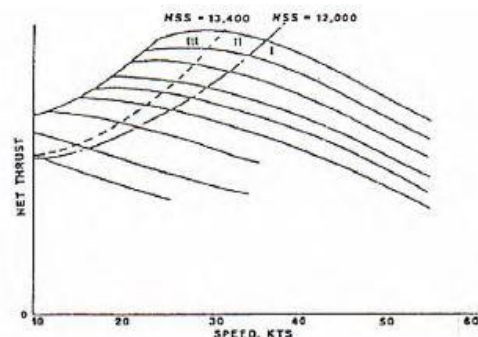
Kavitasi pada sistem waterjet dapat ditinjau dari persamaan putaran spesifik hisap ( $N_{ss}$ ) dan *pump cavitation number* ( $\sigma_p$ ). Persamaan dari  $N_{ss}$  adalah :

$$N_{ss} = N \times \frac{\sqrt{Q_j}}{NPSH^{0.75}} \quad (6)$$

Dimana :

- $N$  = Putaran pompa waterjet (rpm)
- $Q_j$  = Kapasitas aliran pompa (gpm)
- $NPSH$  = *Net positive suction head* (ft)

Batasan nilai  $N_{ss}$  secara praktis ditentukan oleh pabrik pembuat pompa yang mempunyai harga bervariasi tergantung pada kondisi operasi pompa.



Gambar 3. Zona operasi waterjet

Menurut Wislicenus [5] tidak mungkin untuk beroperasi bebas dari kavitasi pada saat *pump cavitation number* ( $\sigma_p$ )  $\leq 0,4$

$$\sigma_p = \frac{NPSH}{H} \quad (7)$$

## 2.4. Mesin Diesel

Mesin diesel memiliki efisiensi termal terbaik dibandingkan dengan mesin pembakaran dalam maupun pembakaran luar lainnya, karena memiliki rasio kompresi yang sangat tinggi. Mesin diesel kecepatan rendah (mesin kapal) dapat memiliki efisiensi termal lebih dari 50%.

Kelebihan mesin diesel :

1. Penggantian komponen busi tidak diperlukan karena tidak menggunakan busi, sehingga menghemat biaya pemeliharaan penggantian komponen *consumable*.
2. Harga bahan bakar lebih murah.
3. Lebih efisien.
4. Mesin lebih awet.
5. Torsi tinggi.
6. Kompatibel dengan bahan bakar alternatif.
7. Sederhana secara mekanikal.

Kekurangan mesin diesel :

1. Start awal untuk memicu hidupnya mesin lebih berat, sehingga memerlukan aki/baterai yang lebih besar.
2. Suara mesin lebih besar.
3. Bekerja pada tekanan tinggi, sehingga memiliki getaran yang lebih besar pada mesin.
4. Harga mesin mahal.
5. Lebih resiko terjadi kerusakan jika mengalami kehabisan bahan bakar.

## 2.5. Motor Listrik

Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya, jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran / loop, maka kedua sisi loop, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan. Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar / torque untuk memutar kumparan. Motor-motor memiliki beberapa loop pada dinamonya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan [6].

### • Motor AC

Motor AC adalah jenis motor listrik yang bekerja menggunakan tegangan AC (*Alternating Current*). Motor AC memiliki dua buah bagian utama yaitu “stator” dan “rotor”. Stator merupakan komponen motor AC yang statis. Rotor merupakan komponen motor AC yang berputar. Motor AC dapat dilengkapi dengan penggerak frekuensi

variabel untuk mengendalikan kecepatan sekaligus menurunkan konsumsi dayanya.

Kelebihan motor AC :

1. Desain sederhana.
2. Biaya rendah.
3. Reliable operasi.
4. Penggantian mudah ditemukan.
5. Ragam *mounting styles*.
6. Banyak lampiran lingkungan yang berbeda.

Kekurangan motor AC :

1. Mahal control kecepatan.
2. Ketidakmampuan untuk beroperasi pada kecepatan rendah.
3. Miskin posisi *control*.

### • Motor DC

Motor DC adalah jenis motor listrik yang bekerja menggunakan sumber tegangan DC (*Direct Current*). Motor DC atau motor arus searah sebagaimana namanya, menggunakan arus langsung dan tidak langsung/*direct-unidirectional*. Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalan *torque* yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.

Kelebihan motor DC :

1. Mudah untuk memahami perencanaan.
2. Mudah untuk mengontrol kecepatan.
3. Mudah untuk mengontrol torsi.
4. Desain yang sederhana.

Kekurangan motor DC :

1. Mahal untuk menghasilkan.
2. Tidak bisa diandalkan control pada kecepatan rendah.
3. Secara fisik lebih besar.
4. Tinggi pemeliharaan.

## 2.6. Engine Waterjet Matching

Pada dasarnya *engine waterjet matching* sama dengan *engine propeller matching* yakni untuk mengetahui kesesuaian dan mengoptimalkan penggunaan *propulsor* terhadap *prime mover* kapal agar mencapai kecepatan yang diinginkan, serta mengetahui karakteristik dari *propulsor* dan *prime mover* tersebut. Pada *engine matching* dikenal istilah *matching point*. Menurut Surjo W. Adji [7] *matching point* merupakan suatu titik operasi dari putaran motor penggerak kapal (*engine speed*) yang sedemikian hingga tepat (*match*) dengan karakter beban *propulsor*, yaitu titik operasi putaran motor dimana *power* yang di-*absorb* oleh *propulsor* sama dengan *power produced* oleh *engine* dan menghasilkan kecepatan kapal yang mendekati (sama persis) dengan kecepatan servis kapal yang direncanakan.

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Materi Penelitian

- Data Primer

Berikut data utama ukuran kapal :

Loa	= 14,10	m
Lwl	= 12,00	m
B	= 3,20	m
H	= 1,9	m
T	= 0,75	m
Max. Speed	= 28	knots
Service Speed	= 25	knots

- Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari literatur (jurnal, paten, buku, dan artikel) yang didapatkan dari berbagai sumber seperti internet atau UPT perpustakaan Universitas Diponegoro.

#### 3.2. Pengolahan Data

Pengolahan data dimulai setelah semua data yang di butuhkan diperoleh, kemudian data tersebut dikumpulkan dan diolah agar dapat mempermudah dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini. Pengolahan data dimulai dengan tahapan sebagai berikut:

##### a) Pembuatan Model 3D Kapal

Pembuatan model kapal didasarkan pada data *lines plan* yang telah didapat dengan menggunakan software *Rhinoceros 5.0*.

##### b) Perhitungan Hambatan Dan EHP Kapal

Perhitungan hambatan dan EHP kapal menggunakan 2 cara, yakni dengan menggunakan software *Maxsurf Resistance* dan menggunakan rumus empiris secara manual sebagai validasi hambatan.

##### c) Perhitungan Kebutuhan Power (BHP) Prime Mover

Sebelum menghitung kebutuhan *power* (BHP) *prime mover* terlebih dahulu adalah menghitung *overall propulsive coefficient* (OPC) *waterjet*. Setelah mendapatkan harga OPC langkah selanjutnya adalah memprediksi kebutuhan *power* (BHP) *prime mover* kapal secara manual dengan menggunakan rumus dan dengan *Maxsurf Resistance* sebagai validasi.

##### d) Analisa Sistem Propulsi DWP dan EWP

Analisa yang dilakukan meliputi pemilihan spesifikasi komponen-komponen sistem propulsi, analisa *engine waterjet matching*, pertimbangan kavitasi, pembuatan skema diagram, *engine room layout* dari tiap sistem propulsi, serta menganalisa konsumsi bahan bakar tiap sistem propulsi.

##### e) Penarikan Kesimpulan

Dari data yang diperoleh pada saat penelitian ditarik kesimpulan mengenai penerapan *Diesel Waterjet Propulsion* (DWP) dan *Electrical Waterjet Propulsion* (EWP). Dengan mengetahui kondisi ekonomis pada penerapan kedua jenis sistem propulsi tersebut dapat ditentukan sistem propulsi yang paling efisien untuk kapal patroli imigrasi 14 meter.

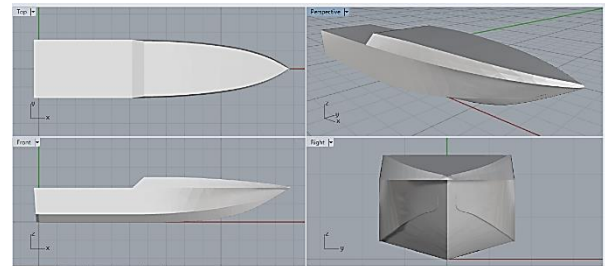
### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Ukuran Utama Kapal

Nama Kapal	: Kapal Patroli Imigrasi 14 Meter
Jenis Hull	: <i>Hard Chine Planing Hull / V Hull</i>
LOA	: 14,10 m
LWL	: 12,00 m
B	: 3,20 m
H	: 1,90 m
T	: 0,75 m
Max Speed	: 28 knots
Service Speed	: 25 knots

#### 4.2. Pemodelan Kapal

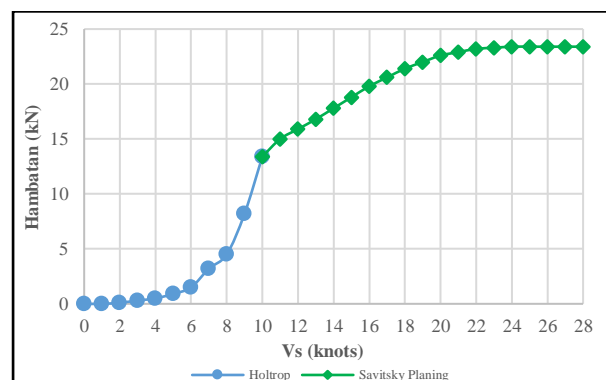
Dari data dan *lines plan* dibuat model 3D badan kapal dengan bantuan software *Rhinoceros 5.0*.

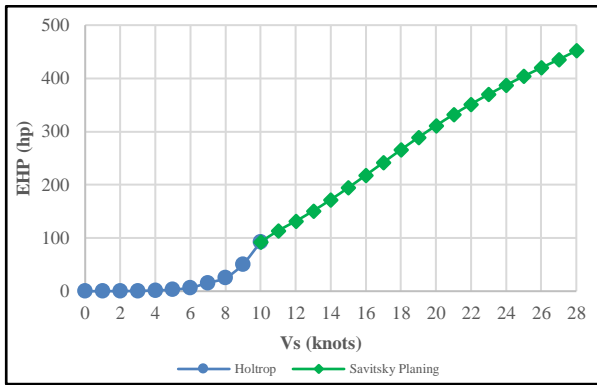


Gambar 4. Model 3D kapal dengan *Rhinoceros 5.0*

#### 4.3. Perhitungan Hambatan Dan EHP Kapal

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan didapatkan besarnya hambatan dan EHP kapal patroli imigrasi 14 meter pada saat kecepatan maksimum 28 knots sebesar 23,4 kN dan 452,01 hp, kecepatan dinas 25 knots sebesar 23,4 kN dan 403,91 hp dan kecepatan pengintaian 18 knots sebesar 21,4 kN dan 265,83 hp.

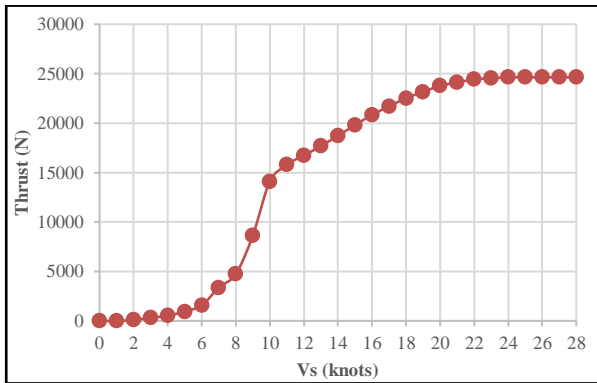




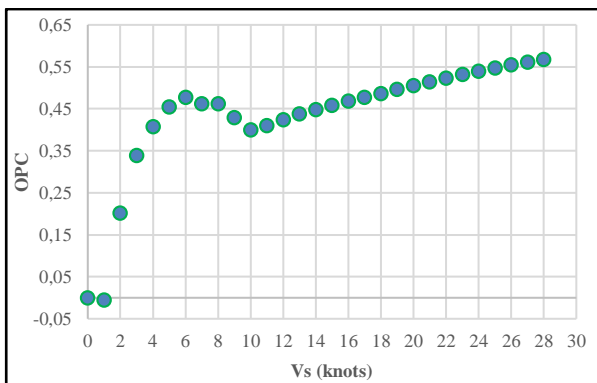
Gambar 5. Hambatan dan EHP kapal

#### 4.4. Analisa Karakteristik Waterjet

Kapal patroli imigrasi 14 meter menggunakan propulsi *waterjet* CASTOLDIJET TD340HC dengan diameter inlet ( $D_i$ ) = 337 mm. Berikut hasil perhitungan gaya dorong *waterjet*, *overall propulsive coefficient* (OPC), daya dan putaran pompa yang ditampilkan dalam grafik.

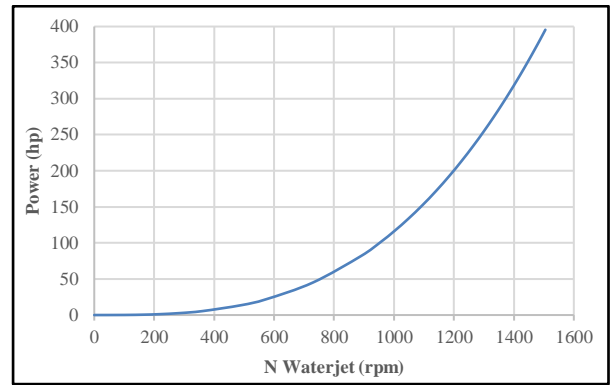


Gambar 6. Gaya dorong *waterjet*



Gambar 7. Overall Propulsive Coefficient (OPC)

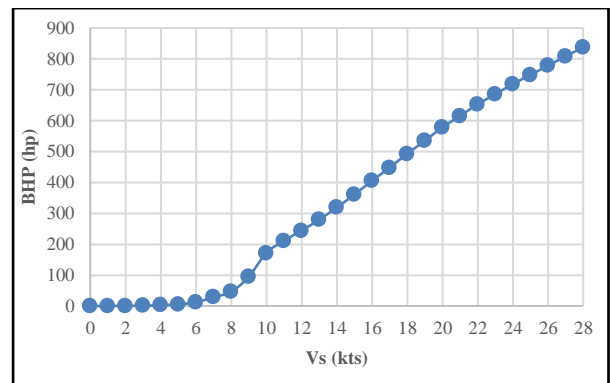
Dari hasil perhitungan OPC didapatkan harga OPC sebesar 0,5677 atau 56,77 %, kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan daya dan putaran pompa dari *waterjet*.



Gambar 8. Castoldijet TD340HC Characteristic

#### 4.5. Perhitungan BHP

Untuk menghitung BHP dengan cara mengalikan *thrust* dengan kecepatan ( $V_s$ ) kemudian dibagi OPC dari *waterjet*. Berikut hasil perhitungan BHP.



Gambar 9. Brake horse power (BHP)

Untuk mencapai kecepatan maksimum 28 knots dibutuhkan BHP *prime mover* minimum sebesar 419,025 hp untuk 1 *prime mover*.

#### 4.6. Diesel Waterjet Propulsion (DMP)

- Data Mesin Diesel
  - Merk : Caterpillar
  - Type : 3126
  - Power : 420 hp (313 kW)
  - Speed : 2800 rpm
  - Fuel Rate 100% : 85,4 L/Jam @ 2800 rpm

##### 1. Engine Waterjet Matching

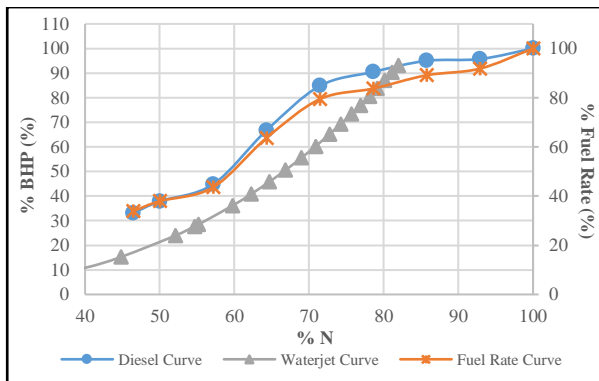
Dari hasil analisa *engine waterjet matching* didapatkan *gearbox* dengan rasio 1 : 1,53

Tabel 1. Karakteristik Diesel Engine berdasarkan Diesel Waterjet Matching

Kondisi	BHP <sub>Diesel</sub> (hp)	N <sub>Diesel</sub> (rpm)	Fuel Rate (L/Jam)
I	342,91	1932	65,7
II	381,75	2215	71,8
III	395,22	2293	74,3

Tabel 2. Karakteristik *Waterjet* berdasarkan *Diesel Waterjet Matching*

Kondisi	P <sub>WJ</sub> (hp)	N <sub>WJ</sub> (rpm)	V <sub>s</sub> (kts)
I	233,24	1262	18
II	351,79	1447	25
III	395,22	1502	28



Gambar 10. *Diesel Waterjet Matching*

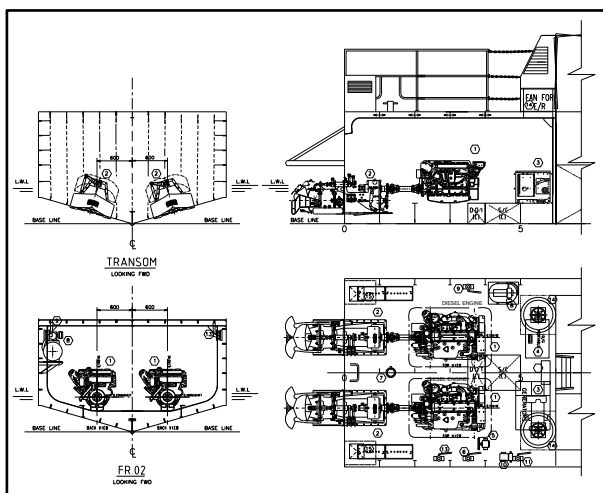
2. Pertimbangan Kavitas

Dari analisa *Diesel Waterjet Matching*, didapatkan harga dari putaran spesifik hisap (N<sub>ss</sub>) ≤ 12.000 pada semua kondisi, artinya pengoperasian *waterjet* berada pada zona I sehingga aman digunakan secara kontinyu dan untuk harga *pump cavitation number* (σ) ≥ 0,4.

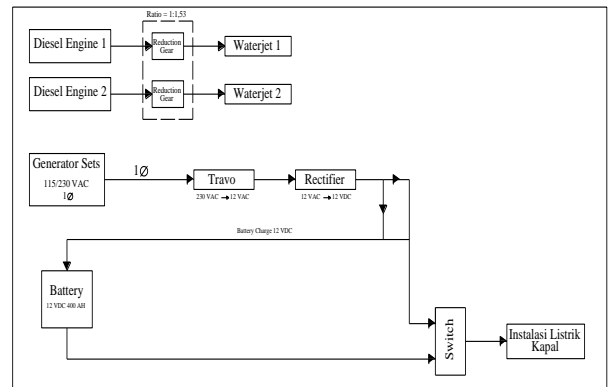
Tabel 3. Perhitungan N<sub>ss</sub> dan σ (DWP)

Kondisi	H (ft)	NPSH (ft)	N <sub>s</sub>	N <sub>ss</sub>	σ
I	73,03	47,582	5772,3	7959,6	0,65
II	86,538	69,035	6206,9	7353,3	0,80
III	89,673	77,301	6379,2	7130,6	0,86

3. *Engine Room Layout* dan Skema Diagram DWP



Gambar 11. *Engine Room Layout* (DWP)



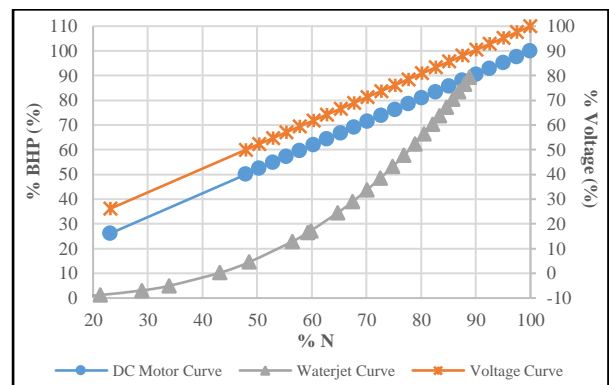
Gambar 12. Skema Diagram (DWP)

4.7. *Electrical Waterjet Propulsion (EWP)*

- Data Motor Listrik  
Merk : Siemens  
Type : 1GG6 256-0NG40-1VV1  
Power : 437 hp (326 kW)  
Speed : 1721 rpm  
Voltage: 420 V (armature)  
310 V (field)

1. *Engine Waterjet Matching*

Dari hasil analisa *engine waterjet matching* didapatkan *gearbox* dengan rasio 1 : 1,0205



Gambar 13. *Electric Motor Waterjet Matching*

Tabel 4. Karakteristik *DC Motor* berdasarkan *Engine Waterjet Matching (DEP)*

Kondisi	Voltage (V)	BHP <sub>DC</sub> Motor (hp)	N <sub>DC</sub> Motor (rpm)
I	318,3	331,729	1288
II	362,9	378,140	1477
III	376,7	395,214	1533

Tabel 5. Karakteristik *Waterjet* berdasarkan *Engine Waterjet Matching (DEP)*

Kondisi	P <sub>WJ</sub> (hp)	N <sub>WJ</sub> (rpm)	V <sub>s</sub> (kts)
I	233,24	234,52	1264
II	351,79	354,19	1451
III	390,81	395,21	1503

2. Pertimbangan Kavitasi

Dari analisa *Engine Waterjet Matching*, didapatkan harga dari putaran spesifik hisap ( $N_{ss}$ )  $\leq 12.000$  pada semua kondisi, artinya pengoperasian *waterjet* berada pada zona I sehingga aman digunakan secara kontinyu dan untuk harga *pump cavitation number* ( $\sigma_p$ )  $\geq 0,4$ .

Voltage : 115/230 V  
 Frekuensi : 50 Hz  
 Phase : 1  
 Fuel Rate : 1,12 L/Jam (25% Load)  
 1,46 L/Jam (50% Load)  
 1,84 L/Jam (75% Load)  
 2,28 L/Jam (100% Load)

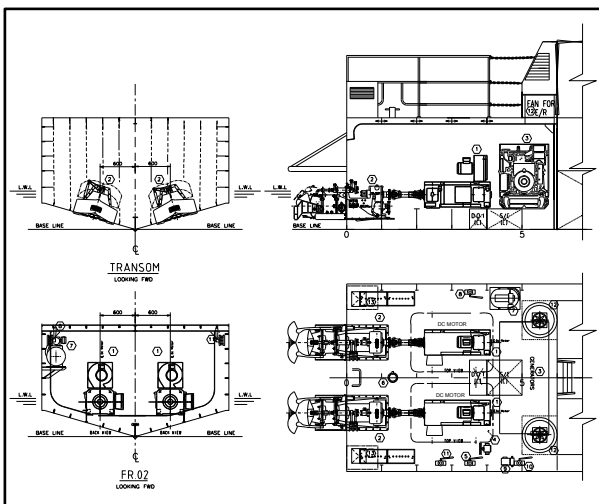
Tabel 6. Perhitungan  $N_{ss}$  dan  $\sigma_p$

Kondisi	H (ft)	NPSH (ft)	$N_s$	$N_{ss}$	$\sigma_p$
I	73,03	47,582	5772,3	7959,6	0,65
II	86,538	69,035	6206,9	7353,3	0,80
III	89,673	77,3	6379,7	7131,2	0,86

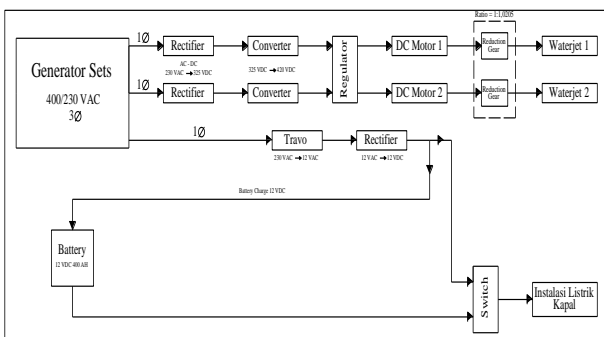
Tabel 7. Konsumsi BBM (DWP)

Kondisi	$V_s$ (knots)	Konsumsi BBM (L/Jam)		
		2 Diesel Engine	Genset	Total
I	18	131,31	2,28	133,59
II	25	143,57	2,28	145,85
III	28	148,60	2,28	150,88

3. *Engine Room Layout* dan Skema Diagram EWP



Gambar 14. *Engine Room Layout* (EWP)



Gambar 15. Skema Diagram (EWP)

Tabel 8. Biaya BBM (DWP)

Kondisi	$V_s$ (knots)	Total Konsumsi BBM (L/Jam)	Harga Solar (Rp/L)	Biaya
				(Rp/Jam)
I	18	133,59	5.150	687.994
II	25	145,85	5.150	751.129
III	28	150,88	5.150	771.011

• *Electrical Waterjet Propulsion (EWP)*

Data generator set :  
 Merk : Inmesol  
 Model : AP-825-Heavy Range  
 Power : 822 kVA (657 kW)  
 Speed : 1500 rpm  
 Voltage : 400/230 V  
 Frekuensi : 50 Hz  
 Phase : 3  
 Fuel Rate : 84 L/Jam (50% Load)  
 124 L/Jam (75% Load)  
 163 L/Jam (100% Load)

Tabel 9. Konsumsi BBM (EWP)

Kondisi	$V_s$ (knots)	Total Daya Listrik (kW)	Load Genset (%)	Total Konsumsi
				BBM (L/Jam)
I	18	494,94	75,26	124,41
II	25	564,19	85,79	140,84
III	28	589,66	89,67	146,88

Tabel 10. Biaya BBM (EWP)

Kondisi	$V_s$ (knots)	Total Konsumsi BBM (L/Jam)	Harga Solar (Rp/L)	Biaya
				(Rp/Jam)
I	18	124,41	5.150	640.725
II	25	140,84	5.150	725.324
III	28	146,88	5.150	756.445

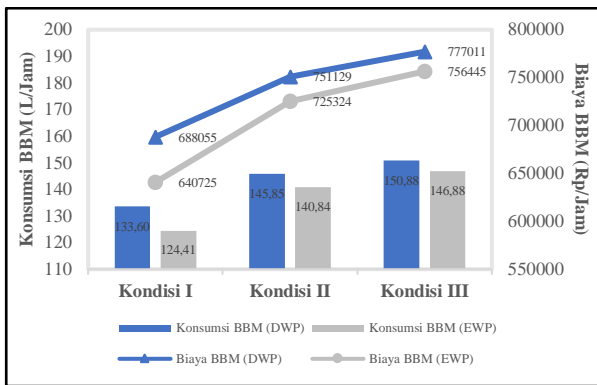
4.8. Analisa Konsumsi Bahan Bakar (BBM)

1. Berdasarkan Kondisi

• *Diesel Waterjet Propulsion (DWP)*

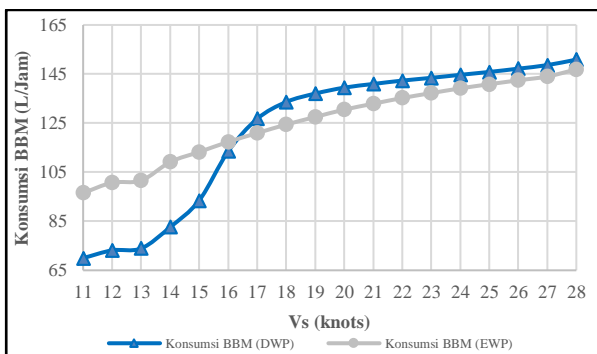
Data generator set :  
 Merk : Cummins Onan  
 Model : 6.0MDKBJ  
 Power : 6 kVA (4,8 kW)  
 Speed : 2400 rpm





Gambar 16. Perbandingan konsumsi dan biaya BBM tiap sistem propulsi

## 2. Berdasarkan Kecepatan Kapal



Gambar 17. Perbandingan konsumsi BBM terhadap kecepatan tiap sistem propulsi

Hasil efisiensi BBM ditampilkan dalam tabel berikut.

Tabel 11. Efisiensi BBM EWP terhadap DWP

Vs kts	$\Sigma$ EWP	$\Sigma$ DWP L/Jam	$\Delta$	Eff %
11-16	638.53	506.61	-131.92	-26.04
17-28	1621.95	1700.74	78.79	4.633

## 5. PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa yang telah dilakukan untuk membandingkan penerapan *Diesel Waterjet Propulsion* dengan *Electrical Waterjet Propulsion* dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil perhitungan hambatan kapal dengan *software* dapat diketahui bahwa nilai hambatan pada kecepatan maksimum 28 knots sebesar 23,4 kN, pada kecepatan dinas 25 knots sebesar 23,4 kN, dan pada kecepatan pengintaian 18 knots sebesar 21,4 kN.
2. Gaya dorong (*thrust*) *waterjet* untuk mencapai kecepatan maksimum 28 knots sebesar 24,63 kN, kecepatan dinas 25 knots sebesar 24,63 kN, dan kecepatan pengintaian 18 knots

sebesar 22,52 kN dimana *Overall Propulsive Coefficient (OPC)* *waterjet* sebesar 56,77 %.

3. Dari hasil analisa *Engine Waterjet Matching*, *diesel waterjet propulsion* menggunakan *gearbox* dengan rasio 1:1,53 dan *electrical waterjet propulsion* dengan rasio *gearbox* 1:1,0205. Konsumsi BBM untuk *diesel waterjet propulsion* sebesar 150,88 L/Jam, *electrical waterjet propulsion* sebesar 146,88 L/Jam pada saat kecepatan maksimum 28 knots, dimana selisih konsumsi BBM pada kecepatan tersebut adalah 4 L/Jam.
4. Penerapan *electrical waterjet propulsion* memberikan efisiensi BBM sebesar 4,633 % dibanding *diesel waterjet propulsion* pada *range* kecepatan 17 - 28 knots, sedangkan *diesel waterjet propulsion* memberikan efisiensi BBM sebesar 26,04 % dibandingkan *electrical waterjet propulsion* pada *range* kecepatan 11-16 knots. Jika pemilihan sistem propulsi hanya ditimbang dari segi pemakaian BBM nya maka *electrical waterjet propulsion* lebih efektif diterapkan pada kapal patroli imigrasi 14 meter dikarenakan konsumsi BBM nya lebih hemat dibandingkan sistem propulsi *diesel waterjet propulsion* pada saat kecepatan kapal maksimum, dinas dan pengintaian.

### 5.2. Saran

Selanjutnya dari pembahasan penelitian ini, dapat dirangkum beberapa saran yang berkaitan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa pengaruh aliran air yang masuk dan keluar dari *waterjet*, sehingga didapatkan hasil yang akurat tentang karakteristik *waterjet* terhadap badan kapal.
2. Membandingkan beberapa spesifikasi *prime mover* (mesin diesel dan motor listrik) dan generator set yang ada di pasaran, sehingga diperoleh yang lebih hemat pemakaian BBM nya.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Prasetya, dkk. 2016. *Perencanaan Sistem Propulsi Hybrid untuk Kapal Fast Patrol Boat 60 M*. Jurnal Teknik ITS Vol. 5, No. 2. ITS. Surabaya
- [2] Sasono, Eko Julianto. 2010. *Pengaruh Bentuk dan Berat Dalam Perancangan Kapal Barang Cepat*. Gema Teknologi Vol. 16 No. 1 Periode April 2010. Semarang : Program Studi Diploma III Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro. Semarang
- [3] Savitsky, Daniel. 1964. *Hydrodynamic Design of Planing Hulls*. Reprinted from

MARINE TECHNOLOGY, Vol. 1, No. 1, pp. 71-95.

- [4] Purnomo, Taufiq Adi. 2016. *Analisa Perancangan Sistem Propulsi Waterjet Sebagai Propulsi Alternatif Pada Kapal Patroli Cepat 61 M* (Tugas Akhir). ITS. Surabaya.
- [5] Allison, John. 1993. *Marine Waterjet Propulsion*. SNAME Transactions, Vol. 101, pp. 275-335.
- [6] Irham, Edi. 2013. *Perancangan Pembangkit Listrik Hybrid pada Kapal Penangkap Ikan Menggunakan Homer di Selat Malaka* (Tugas Akhir). Pekanbaru : Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Negeri Sultan Kasim Riau.
- [7] Blount, D. L. and Bartee R. J. 1997. *Design of Propulsion Systems for High-Speed Craft*. Marine Technology, Vol. 34, No. 4, pp. 276-292.