

# Perancangan Controllable Pitch Propeller pada Kapal Offshore Patroli Vessel 80 (OPV80)

Alfan Dicky Firmansyah, Agoes Santoso, dan Edy Djatmiko

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail : agoes@its.ac.id

**Abstrak**—Perkembangan teknologi maritim di Indonesia mulai menemui titik kemajuan, tak terkecuali untuk bidang trans-portasi laut yaitu perkapalan. Oleh sebab itu, saat ini banyak kajian-kajian yang dilakukan di dunia perkapalan. Pengembangan yang dikaji, dilakukan pada banyak bidang di kapal. Antara lain adalah pada teknologi penggerak, sistem-sistem, dan maneuvering kapal. Pada penelitian ini kali ini akan dibuat suatu kajian mengenai perancangan propulsor non konvensional jenis controllable pitch propeller (CPP) untuk diterapkan pada kapal di Indonesia. Perancangan dilakukan dengan fokus utama yaitu pada design dari screw blade propeller untuk diterapkan pada CPP. Selama ini CPP yang digunakan di Indonesia adalah impor. Sehingga timbul inisiatif untuk mengembangkan produk CPP dalam negeri. Tipe baling-baling yang akan digunakan pada CPP adalah Wageningen B-Screw Series. Pada perencanaan, didapat range pitch CPP pada nilai P/D 0,5 sampai P/D 0,872 dimana P/D 0,872 adalah yang paling optimum dengan matching point paling bagus. Pada P/D 0,872, kapal bisa berjalan pada kecepatan maksi-mumnya dengan BHPscr mesin. Kemudian akan didapat diagram karakteristik dari CPP dengan baling-baling yang dipilih. Dari perencanaan flens CPP blade, didapat flens dengan modulus  $3692640 \text{ mm}^3$  dan kemudian dibuat design blade CPP tersebut.

**Kata Kunci**—CPP, propeller, pitch, blade

## I. PENDAHULUAN

SALAH satu komponen penggerak kapal yang dikenal selama ini adalah propeller. Perkembangan desain dari propeller tentunya ditujukan untuk membuat laju suatu kapal menjadi lebih optimal dan efektif. Optimalisasi suatu design propeller dapat dilakukan melalui proses perhitungan. Pada propeller terdapat sudut-sudut daun yang dibuat sedemikian rupa seperti gayung yang memanfaatkan aliran air yang melewati lambung kapal atau yang biasa dikenal dengan *pitch* propeller. Kecepatan kapal bisa dicapai karena adanya daya dorong dari propulsor yang dimiliki oleh kapal. Saat ini yang paling umum adalah menggunakan propeller jenis screw propeller. Propeller ini mengubah torsi dari mesin menjadi thrust power yang akan menggerakkan fluida di sekitarnya. Propeller tipe konvensional, pada umumnya dipasang pada suatu poros dan terletak dibagian buritan kapal.

Semakin berkembangnya teknologi, maka banyak dibuat suatu perkembangan desain propeller agar kapal bisa beroperasi dengan efektif ketika mendapat beban. Salah satu perkembangan desainnya adalah propulsor jenis Controllable Pitch Propeller (CPP). Baling-baling CPP menyediakan ekstra dalam tingkat 'derajat kebebasan' melalui kemampuan perubahan sudut *pitch*

pada daun propellernya[1]. Hal tersebut bisa terjadi, karena didalam unit CPP terdapat suatu mekanisme yang memungkinkan daun propeller bisa diputar sudut pitchnya. Pada umumnya mekanisme yang digunakan adalah mekanisme hidrolis.

Pada saat ini, kapal-kapal dalam negeri cu-kup banyak yang menggunakan penggerak Controllable Pitch Propeller, namun semua unit CPP yang dipakai adalah masih impor dari luar negeri. Sangat jarang, orang-orang dari dalam negeri (anak bangsa) yang mau untuk belajar membuat desain CPP. Hal itu sangat disayangkan, karena pada saat ini sudah banyak para pengrajin dalam negeri yang mampu untuk membuat design propeller yang biasa dipakai yaitu Fix Pitch Propeller (FPP).

Pabrik-pabrik pembuat Controllable Pitch Propeller saat ini pada umumnya mendesign blade propeller untuk CPP dengan menggunakan blade propeller tipe "Skew propeller" ataupun dengan menggunakan blade yang didesign sedemikian rupa dengan perhitungan khusus dengan memperhatikan aspek hidrodinamika termasuk blade yang didesign dengan *software* khusus. Namun metode design blade seperti yang disebutkan di atas, masih jarang atau bahkan belum dikenal di Indonesia. Bidang keilmuan yang di terapkan Indonesia kebanyakan adalah masih pada metode design blade propeller dengan menggunakan metode design blade Wageningen B-Screw Series. Oleh karena itu pada tugas akhir kali ini, dilakukan suatu pembelajaran terhadap penerapan metode design B-Screw series untuk mendesign blade *unconventional propeller* seperti CPP.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### II.1 Controllable Pitch Propeller

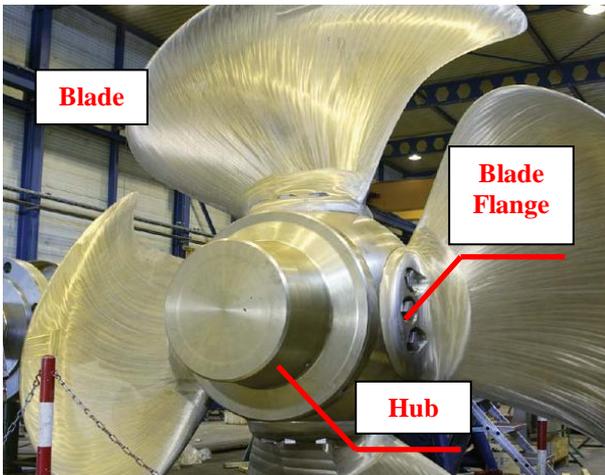
Dengan memakai fix propeller, daya pada seluruh kondisi beban propeller tidak mungkin dapat dimanfaatkan seluruhnya. Masalah ini dapat diatasi dengan memakai baling-baling yang daunnya dapat diatur (dikendalikan), yang disebut Controllable Pitch Propeller atau yang biasa dikenal dengan singkatan CPP. Dengan memakai propulsor jenis ini maka seluruh daya mesin akan dapat diserap dengan baik, seka-lipun dalam kondisi beban propeller yang berbeda-beda. Misalnya saat kapal dalam kondisi menarik, bergerak bebas, memecah es, atau berubahnya kondisi badan kapal, cuaca, dan kedalaman air.

Komponen dari CPP adalah hub propeller dan daunnya, poros dengan kotak penyalur minyak pelumas, sistem hidrolis dengan tangki minyak dan pompa, dan sistem control dari jarak jauh. Ruang kendali utama propeller jenis ini berada di ruang navigasi kapal. Desain

dari mekanisme yang ada di dalam hub propeller pada umumnya bervariasi antar masing-masing pabrik pembuat CPP[1].

Langkah ulir dan laju kisaran dikendalikan dengan sebuah tuas. Langkah ulir dan laju kisaran dapat diatur kemiringan pitchnya secara otomatis ketika propeller sedang bekerja sehingga didapatkan efisiensi menyeluruh yang optimal dan daya mesin yang dapat dihasilkan oleh mesin utama dapat dipakai sepenuhnya dalam berbagai kondisi yang berbeda. Arah dari gaya dorong dapat dirubah secara langsung tanpa adanya mekanisme untuk juga mengubah putaran poros dari propeller dan tanpa melalui tahapan yang panjang[3].

Secara umum daun propeller dirancang berdasarkan peraturan yang diberikan oleh organisasi standar dan menurut teori hidrodinamika umum. Daun propeller pada CPP dirancang dengan plendes (*flange*) yang besar agar dapat memberikan tempat yang cukup untuk pembautan daun blaing-baling dan hub. Dengan plendes yang besar demikian itu maka akan dapat dirancang pangkal daun yang kuat tanpa memakai rasio tebal daun yang berlebihan [3]. Hub propeller jenis ini sedikit lebih besar dibandingkan dengan hub pada FPP. Ini berarti bahwa efisiensi propeller kendali daun sedikit lebih rendah daripada efisiensi propeller biasa. Namun propeller tipe CPP dikenal sangat memuaskan dipakai untuk bisa memenuhi kecepatan yang tinggi dalam kondisi bergerak bebas dan gaya tambat yang besar dalam kondisi menarik atau dalam uji tarik tambat[3].



Gambar 1. Controllable Pitch Propeller

Adapun keuntungan dan kerugian pemakaian propeller jenis CPP yang akan dijelaskan sebagai berikut[3].

- Keuntungan menggunakan Controllable Pitch Propeller, yaitu :
  1. Dapat dipakai untuk mempercepat, menghentikan, dan mengolah gerakan kapal dengan baik.
  2. Gaya dorong dapat dipertahankan tetap dalam kondisi beban yang berubah-ubah.
  3. Ekonomis untuk kapal bekerja dengan kecepatan dan kondisi beban yang berbeda-beda.
  4. Mesin penggerak yang arah putarannya tidak bisa dibalik dapat dipakai secara optimal.
  5. Laju kecepatan dapat diubah-ubah tanpa harus mengubah laju kisaran propeller, yaitu cukup dengan jalan mengendalikan daun pitch propeller

hingga mendapatkan langkah uir yang sesuai untuk menghasilkan kecepatan kapal yang dikehendaki.

6. Jika generator dihubungkan langsung dengan mesin induk maka laju putaran mesin induk tersebut harus dipertahankan agar selalu tetap. Pemakaian CPP mampu memenuhi kebutuhan ini.
- Kerugian menggunakan Controllable Pitch Propeller, yaitu :
    1. Konstruksi CPP cukup rumit.
    2. Harganya relatif tinggi.
    3. Memerlukan lebih banyak perhatian dalam hal perawatan daripada propeller biasa. Hal tersebut disebabkan oleh rumitnya konstruksi hub dan adanya sistem hidrolis.

Secara umum, dalam perancangan awal, karakteristik baling-baling kendali daun dapat diperkirakan dengan memakai diagram dari seri propeller pada umumnya seperti *BP-δ* diagram.

### II.2 Propeller Pitch

Semua jenis propeller sebagai penggerak, baik untuk kapal maupun pesawat, pasti dikenal suatu istilah yang disebut pitch propeller. Pitch propeller adalah besaran displacement yang dibuat oleh propeller dalam satu revolusi putaran ( $360^\circ$ )[1]. Hal itu dikarenakan propeller memiliki *blade* yang memiliki sudut kemiringan dengan sudut axis kemiringan yang tegak lurus dengan axis dari rotasi propeller.

## III. PEMBAHASAN

### III.1 Perhitungan Tahanan Kapal

Sebelum menentukan daya mesin yang akan diaplikasikan di atas kapal yang didesign, harus terlebih dahulu dilakukan perhitungan tahanan total yang bekerja pada badan kapal tersebut. Dalam menghitung tahanan total yang bekerja pada kapal dikenal beberapa metode perhitungan seperti metode Harvald-Guldhamer, metode ITTC, dan Metode Holtrop. Pada perhitungan kali ini digunakan metode perhitungan tahanan Holtrop, karena metode tersebut dikenal sesuai untuk digunakan dalam menghitung tahanan pada kapal-kapal yang memiliki lambung berbentuk V (*rise of floor*). Dalam menghitung tahanan kapal, data yang digunakan dalam perhitungan adalah data-data ukuran utama kapal.

Dari perhitungan dengan metode holtrop didapatkan nilai tahanan kapal pada kondisi design dan kondisi service berikut :

- Perhitungan Tahanan Kondisi Design
 
$$RT_{design} = 0,5\rho V_s^2 \sigma \{C_{fx}(1+k) + C_a\} + R_w \dots (1)$$

$$= 271,088 \text{ kN}$$
- Perhitungan Tahanan Service
 Tahanan service adalah besaran tahanan kapal yang telah ditambahkan sea margin sebagai interpretasi dari kondisi kapal saat berada di laut (service). Sea Margin = 10% - 15% (untuk perairan Asia Tenggara). Sea margin diambil sebesar 15%. Sehingga,
 
$$R_{T \text{ SERVICE}} = (1 + 15\%) R_T \dots (2)$$

$$= 311,75 \text{ kN}$$

**III.2 Perhitungan Daya Mesin**

Secara umum kapal yang bergerak di media air dengan kecepatan tertentu, maka akan mengalami gaya hambat (resistance) yang berlawanan dengan arah gerak kapal tersebut. Besarnya gaya hambat yang terjadi harus mampu diatasi oleh gaya dorong kapal (thrust) yang dihasilkan dari kerja alat gerak kapal (propulsor). Daya yang disalurkan (PD) ke alat gerak kapal adalah berasal dari Daya Poros (PS), sedangkan Daya Poros sendiri bersumber dari Daya Rem (PB) yang merupakan daya luaran motor penggerak kapal.

Ada beberapa pengertian mengenai daya yang sering digunakan didalam melakukan estimasi terhadap kebutuhan daya pada sistem penggerak kapal, antara lain : (i) Daya Efektif (Effective Power-EHP); (ii) Daya Dorong (Thrust Power-THP); (iii) Daya yang disalurkan (Delivered Power-DHP); (iv) Daya Poros (Shaft Power-SHP); dan (v) Daya Rem (Brake Power-BHP) [4]. Dari perhitungan, di-dapatkan nilai dari daya-daya diatas sebagai berikut ;

$$EHP = RT_{service} \times V_s \dots\dots\dots(3)$$

$$= 3528,03 \text{ kW}$$

$$DHP = EHP/P_c \text{ (} P_c = \text{Propulsive Coefficient)} \dots\dots(4)$$

$$= 6588,288 \text{ kW}$$

$$SHP = DHP/\eta_{\text{shp}} \text{ (} \eta_{\text{shp}} = \text{losses pada poros)} \dots\dots(5)$$

$$= 6722,743$$

$$BHP_{scr} = SHP/\eta_G \text{ (} \eta_G = \text{efisiensi Gear Box)} \dots\dots(6)$$

$$= 6859,9 \text{ kW}$$

$$BHP_{mcr} = BHP_{scr}/0,80 \text{ (} 0,80 = \text{output max mesin)} \dots\dots(7)$$

$$= 8574,93 \text{ kW (1 kW = 0,7455 HP)}$$

$$= 11499,16 \text{ HP}$$

pada perencanaan kali ini kapal di design menggunakan penggerak twin screw, maka pada kapal dipasang dua mesin utama. Sehingga daya total tersebut di bagi dua, dan dipilih spesifikasi mesin utama kapal sebagai berikut:

Maker : MTU  
Tipe : 20V 4000 M93L

Tabel 1. Spesifikasi Mesin Utama

Cycle	4 Stroke	
Power	4300	kW
	5765	HP
Silinder	20	
Speed	2100	rpm
Bore	170	mm
Stroke	190	mm
SFOC	220	gr/kWH
Panjang (L)	4015	mm
Lebar (W)	1480	mm
Tinggi (H)	2070	mm
Berat	11980	Kg

Karena memiliki putaran yang berlebih (besar), maka perlu adanya penurunan putaran mesin, dengan menambahkan reduction gear pada sistem penggerak kapal. Berikut adalah tipe serta spesifikasi gear box yang dipilih :

Maker : ZF  
Tipe : 23560 C (IV = 1000)

Tabel 2. Data Spesifikasi Gear Box

Duty	Light Duty
Input max. rotation (RPM)	2000
Input max. power (kW)	5327
Berat (kg)	2600
Ratio	3,577

**III.3 Pemilihan Propeller**

Dalam hal ini, metode pemilihan propeller yang digunakan adalah metode pemilihan propeller jenis *Wageningen B-Screw Series*. Dari perhitungan inilah, nantinya akan didapatkan tipe propeller yang dipilih, efisiensi propeller, dan diameter propeller yang akan digunakan pada kapal OPV 80.

Dalam pemilihan propeller dengan menggunakan metode *B-Screw Series*, terdapat suatu langkah-langkah dan perhitungan yang harus dilakukan, antara lain :

- Penentuan Diameter Maksimum
- Menghitung Velocity Advance
- Menghitung nilai BP
- Memotongkan Harga  $0,1739 \cdot \sqrt{BP}$  dengan Optimum Line
- Menghitung Nilai Do, Db, dan  $\delta b$
- Membaca Harga P/D dan Efisiensi Propeller ( $\eta_p$ )
- Menghitung nilai Ao, Ad, Ae, dan Ap
- Menghitung Nilai  $Vr^2$  dan  $\tau c$
- Perhitungan Nilai Angka Kavitasi

Dengan langkah dan metode perhitungan seperti di atas, dilakukan pemilihan propeller dengan cara membaca diagram BP- $\delta$  dan mengaplikasikan perhitungan tersebut pada banyak tipe propeller *Wageningen B-screw Series*. Pada tugas akhir kali ini, dilakukan pembacaan diagram BP- $\delta$  pada tipe propeller yang berdaun 3, 4, dan 5. Karena kebanyakan jenis CPP yang ada di pasaran adalah berdaun 3, 4, dan 5. Kemudian hasil pembacaan dan perhitungan seperti di atas di buat tabulasinya.

Dari tabulasi hasil pembacaan diagram dan perhitungan propeller B-Screw series, di dapat propeller yang memenuhi syarat dengan efisi-ensi tertinggi adalah tipe propeller B-4.650. Dengan spesifikasi sebagai berikut :

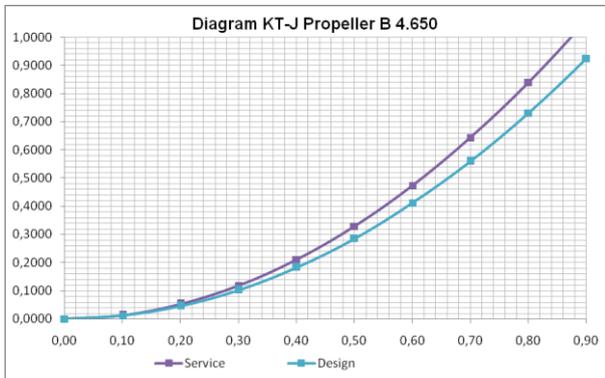
- Tipe : B-4.650
- Ae/Ao : 0,650
- Jumlah daun : 4
- Db : 6,02 ft = 1,83 m
- P/D : 0,852
- $\eta$  : 0,569

**III.4 Engine Propeller Matching**

Sesuai dengan permasalahan yang diangkat pada tugas akhir kali ini, maka untuk perhitungan Engine Propeller Matching (EPM) antara mesin utama dan propeller *Wageningen B-Screw Series*. Perhitungan EPM menggunakan metode EPM dengan melakukan variasi P/D dari propeller. P/D adalah rasio perbandingan antara pitch propeller dengan diameter propeller. Engine Propeller Matching dilakukan dengan tujuan untuk memastikan bahwa daya yang ditransfer ke propeller dapat terpakai untuk membakar bahan bakar sesuai dengan SFOC engine, agar mesin tidak boros.

**III.5 Membuat Grafik KT-J**

Interaksi lambung kapal dan baling-baling (Hull & Propeller Interaction) merupakan upaya-upaya pendekatan diatas kertas untuk mendapatkan karakteristik kinerja baling-baling saat beroperasi untuk kondisi behind the ship<sup>[4]</sup>. Perhitungan KT-J dilakukan pada kondisi design dan kondisi service dimana masing-masing memiliki besaran tahanan yang berbeda dikarenakan adanya penambahan sea margin. Dari perhitungan dibuat grafik KT-J.



Gambar 2. Diagram KT-J Propeller yang Dipilih

**III.6 Menggambar Kurva Open Water**

Pada kasus ini, metode perhitungan EPM menggunakan variasi P/D, untuk mengetahui P/D optimum dari propeller yang akan digunakan. Pada tahap ini P/D divariasikan dari P/D sampai pada harga P/D optimum propeller.

Pada diagram open water tersebut nantinya juga diplotkan diagram KT-J propeller yang dipilih untuk mengetahui interseksi antara KT propeller kondisi dibelakang badan kapal dan kondisi pada saat open water. Dari perpotongan titik perpotongan KT tersebut nantinya akan didapat harga J. Dari harga J tersebut kemudian dibuat garis vertikal yang mana akan didapat nilai Koefisien Thrust (KT), Koefisien Torque (KQ) dan Efisiensi propeller. Harga-harga tersebut didapatkan dari perpotongan antara garis J dengan grafik KT, KQ, dan Efisiensi propeller pada open water diagram.

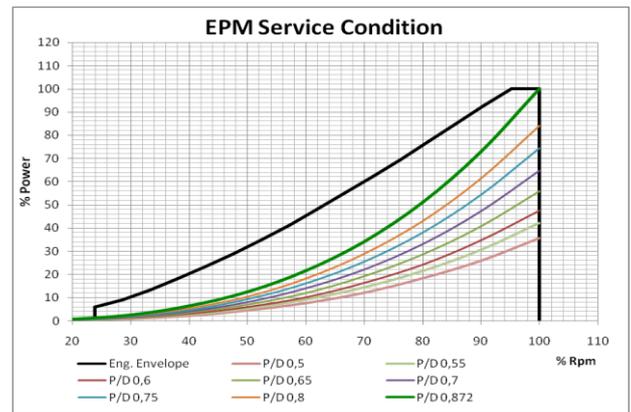
Tabel 3. Harga KT, KQ, &  $\eta$  pada Variasi P/D saat Kondisi Design dan Service

P/D	Kondisi Design		
	KT	KQ	$\eta$
0,6	0,119	0,158	0,481
0,65	0,150	0,182	0,492
0,7	0,165	0,208	0,497
0,75	0,185	0,241	0,500
0,8	0,200	0,275	0,500
0,872	0,228	0,319	0,503
P/D	Kondisi Service		
	KT	KQ	$\eta$
0,6	0,121	0,160	0,462
0,65	0,159	0,188	0,471
0,7	0,172	0,218	0,480
0,75	0,194	0,250	0,479
0,8	0,209	0,283	0,489
0,872	0,238	0,336	0,482

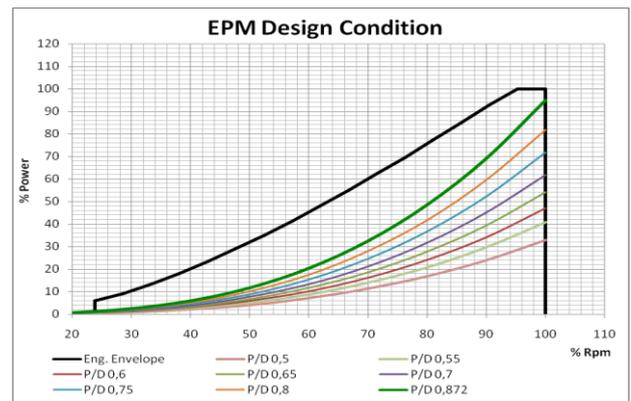
**III.7 Menggambar Kurva Beban Propeller**

Di dalam mengembangkan karakteristik beban propeller, variabel yang terlibat adalah propeller torque dan propeller speed. Untuk propeller torque(Q) merupakan hasil pengo-lahan secara grafis dari hull & propeller interaction, yaitu Koefisien Torque (KQ) pada kondisi design dan service. Kemudian dari nilai torque tersebut dapat diketahui besarnya daya yang ditransmisikan ke propeller.

Kemudian dapat diketahui besarnya nilai BHP dari mesin pada kondisi design dan service. Pada kurva engine operating diagram, kemudian diplotkan kurva beban propeller untuk kondisi design dan service pada masing-masing variasi P/D propeller yang akan digunakan.



(a)



(b)

Gambar 3 (a). EPM dengan Variasi P/D pada Kondisi Design  
(b). EPM dengan Variasi P/D pada Kondisi Service

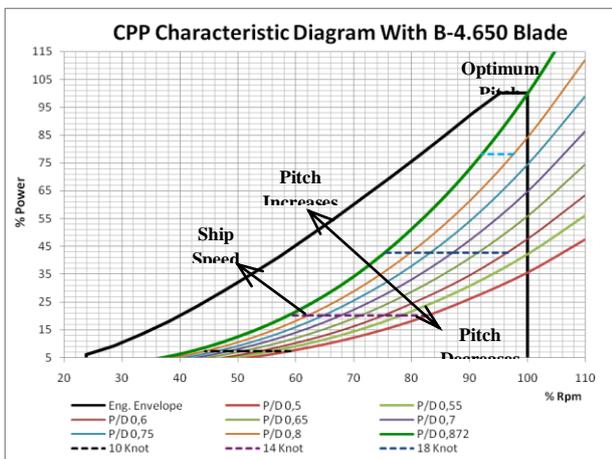
**III.8 Speed Power Prediction**

Diketahui, bahwa kapal ini dioperasikan pada dua kondisi kecepatan, yaitu Vs pada saat landing helikopter dan saat melakukan pertolongan yaitu 10 knot dan pada kecepatan penuh kapal yaitu 22 Knot. Sehingga diambil nilai variasi kecepatan antara 10 -22 Knot dan dihitung untuk setiap variasi P/D pada kondisi service. Dari speed power prediction tersebut maka dapat diplotkan grafik konstan speed pada kurva engine propeller matching. Hasil pengeplotan tersebut bisa dijadikan sebagai diagram karakteristik untuk CPP.

Tabel 4. Speed Power Prediction Pada Beberapa Kecepatan dengan Variasi P/D

Vs	P/D	BHP	Rpm prop.	Eng. Rpm	Kavitasi cek
10	0,5	315,62	346,55	1239,61	No cavitation
	0,55	315,56	327,62	1171,90	No cavitation
	0,6	316,04	315,00	1126,76	No cavitation
	0,65	315,61	298,38	1067,31	No cavitation
	0,7	315,57	284,00	1015,87	No cavitation
	0,75	315,66	271,35	970,62	No cavitation
	0,8	315,61	260,35	931,27	No cavitation
	0,872	-	-	-	-
14	0,5	866,06	485,17	1735,45	No cavitation
	0,55	866,08	458,70	1640,77	No cavitation
	0,6	866,02	440,80	1576,74	No cavitation
	0,65	865,96	417,72	1494,18	No cavitation
	0,7	865,99	397,61	1422,25	No cavitation
	0,75	866,02	379,87	1358,79	No cavitation
	0,8	866,09	364,50	1303,82	No cavitation
	0,872	865,9	344,21	1231,24	No cavitation
18	0,5	-	-	-	-
	0,55	-	-	-	-
	0,6	1840,68	566,75	2027,26	No cavitation
	0,65	1840,60	537,08	1921,14	No cavitation
	0,7	1840,62	511,22	1828,63	No cavitation
	0,75	1840,57	488,40	1747,01	No cavitation
	0,8	1840,49	468,62	1676,25	No cavitation
	0,872	1840,77	442,58	1583,11	No cavitation
22	0,5	-	-	-	-
	0,55	-	-	-	-
	0,6	-	-	-	-
	0,65	-	-	-	-
	0,7	-	-	-	-
	0,75	-	-	-	-
	0,8	3360,74	572,78	2048,83	No cavitation
	0,872	3360,65	540,92	1934,87	No cavitation

Kemudian dibuat grafik konstan ship speed pada grafik Engine Propeller Matching pada kondisi service, seperti gambar berikut.



Gambar 4. Karakteristik Diagram CPP dengan Blade B-4.650

**III.9 Perencanaan Flens Blade CPP**

Dalam merencanakan flens blade propeller, maka harus dilakukan suatu perhitungan untuk mendapatkan

modulus dari flens yang kuat untuk menahan beban yang diterima propeller. Beban dari propeller dapat dihitung dengan menggunakan formula untuk menghitung gaya dorong (*thrust*) propeller. Per-hitungan dilakukan pada posisi pitch terbesar pada kondisi servis.

$$T = KT \times \rho \times D^4 \times n^2 \dots\dots(8) \quad \text{Dimana :}$$

$$= 0,238 \times 1025 \times 1,835 \times 9,78 \quad D \text{ dalam m \& n dalam rps}$$

$$= 264572,03 \text{ kgf}$$

$$= 2594565,33 \text{ N}$$

Karena jumlah blade propeller yang digunakan ada 4, maka beban(P) tersebut didistribusikan merata pada ke 4 blade tersebut.  $P = T/4 \dots\dots\dots(9)$   
 $= 648641,33 \text{ N}$

Blade propeller akan menerima beban dan akibat beban tersebut maka akan terjadi momen pada blade. Momen dapat dihitung sebagai berikut :

$$M = P \times l \dots\dots\dots(10) \quad \text{Dimana :}$$

$$= 648641,33 \times \quad l \text{ adalah radius propeller}$$

$$= 594991,6202 \text{ Nmm}$$

$$= 917,2891 \text{ mm}$$

Pada perencanaan modulus terdapat fungsi dari kekuatan luluh( $\sigma_y$ ) dari material, pada perencanaan ini material untuk blade yang digunakan adalah menggunakan material NiAl-bronze dengan mechanical properties  $\sigma_y$  minimum = 250 N/mm<sup>2</sup>. Modulus(S) flens dapat dihitung dengan formula berikut :

$$S = M \times SF/\sigma_y \dots\dots\dots(11)$$

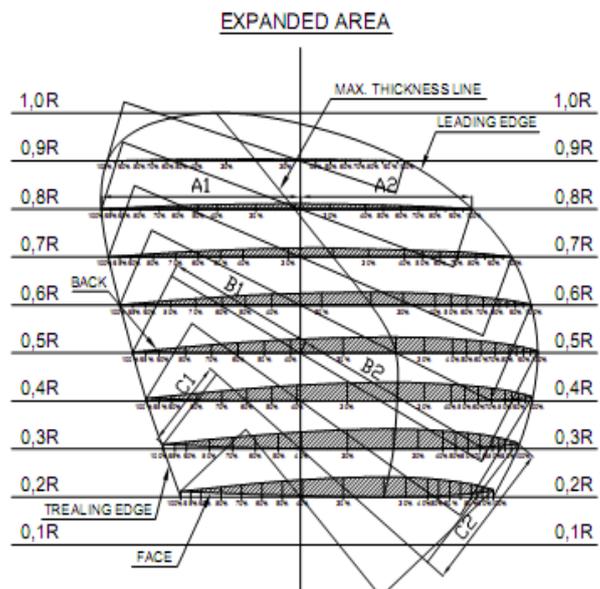
$$= 594991,6202 \times 1,5/ 250 \quad (\text{Safety Factor} = 1,5)$$

$$= 3569949,72 \text{ mm}^3 \quad (\text{minimum modulus})$$

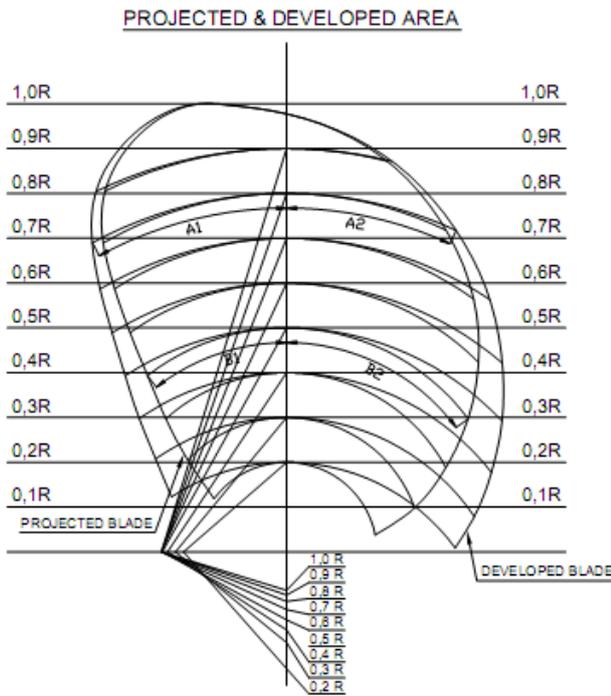
Kemudian flens direncanakan dengan ukuran diameter 280 mm dan tebal 60 mm, sehingga modulus yang didapat sebesar 3692640 mm<sup>3</sup>.

**III.10 Menggambar Design Blade**

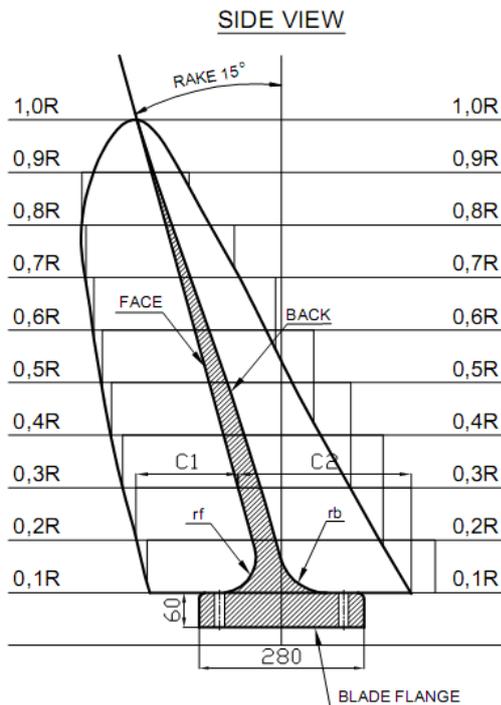
Hal terakhir yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah membuat design blade dari screw propeller yang dipilih untuk diterapkan pada CPP yaitu B-4.650, dengan menggunakan metode design dari Wageningen B-Screw Series. Termasuk menggambar flange pada blade propeller.



Gambar 5. Expanded Area Blade B-4.650



Gambar 6. Projected dan Developed Area Blade B-4.650



Gambar 7. Side View Blade dan Flens pada Blade B-4.650

#### IV. KESIMPULAN

##### IV.1 Kesimpulan

Dari pembahasan di atas, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Propeller *Wageningen B-Screw Series*, dapat diterapkan pada *unconventional propeller* jenis *Controllable pitch Propeller (CPP)*, dengan melihat diagram karakteristik CPP pada pembahasan.
2. CPP yang akan digunakan pada kapal OPV 80 di design dengan range pitch dari nilai pitch ratio

terendah (P/D) sama dengan 0,5 sampai nilai pitch ratio tertinggi yaitu sama dengan 0,872.

3. Pitch ratio 0,872 adalah pitch optimum dari dari CPP yang dirancang ini. Hal tersebut dapat dilihat pada engine propeller matching dimana pada pitch ratio tersebut adalah karakteristik beban propellernya memiliki matching point yang paling bagus. Pada titik operasi putaran motor dimana power yang diserap oleh propeller sama dengan power scr yang diproduksi oleh engine dan menghasilkan kecepatan kapal sesuai dengan yang direncanakan.

##### IV.2 Saran

Saran yang dapat menjadi masukan dari Tugas Akhir ini antara lain :

1. Penelitian tentang screw propeller untuk penerapannya pada *unconventional propeller* jenis CPP ini bisa diteruskan menjadi penelitian berikutnya dengan pembahasan yang berbeda, misalnya seperti penerapan screw propeller pada jenis *unconventional propeller* lainnya.
2. Melakukan penelitian lanjutan terhadap efektivitas aliran dari CPP yang dibahas pada tugas akhir ini dengan menggunakan software berbasis *Computational Fluid Dynamic (CFD)* yang canggih.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Surjo W. Adji (2006). *Pengenalan Sistem Propulsi Kapal* [Online]. Available: [oc.its.ac.id/ambilfile.php?idp=93](http://oc.its.ac.id/ambilfile.php?idp=93).
- [2] J. S. Carlton, *Marine Propellers and Propulsion*, United Kingdom: Elsevier, Oxford (2007).
- [3] A. Harvald, *Tahanan dan Propulsi Kapal*, Surabaya: Airlangga University Press (1992).
- [4] Surjo W. Adji (2005). *Engine Propeller Matching* [Online]. Available: [oc.its.ac.id/ambilfile.php?idp=87](http://oc.its.ac.id/ambilfile.php?idp=87).