

STUDI EKSPERIMENTAL PENGGUNAAN *BOSS CAP FINS* UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI PADA *PROPELLER*

Budi Rolly Yuana, Siti Sadiyah, Kristian Hadi Siswanto, dan Setyo Leksono

Balai Teknologi Hidrodinamika, BPPT

E-mail: budirolly@gmail.com

ABSTRACT

The phenomena of cavitation which occurs when the propeller work can cause adverse effects. One of them is the ship would miss the thrust so that the speed can not be achieved as expected. Various experiments and researches have been done in an effort to obtain maximum results by reducing or even eliminating cavitation occurring.

One of these efforts is to reduce or eliminate cavitation occurring on the hub vortex. This is done by modifying the propeller without changing the original design self. The propeller boss cap is modified by adding fins / fin, and then examines the differences between the cavitation that occur with a standard cap boss the modified. It is then calculated how big the impact on the efficiency of the propeller. In this study, propeller models of type B series 4:45 (model no. 3468) is used. The test conducted in the cavitation tunnel Laboratory for Hydrodynamics, BPP Technology in Surabaya.

From the results of efficiency measurements and observations conducted cavitation it was found that modifications made to be able to eliminate the hub vortex cavitation thereby increasing the efficiency up to 8.58%.

Keywords: Cavitation, Propeller, Thrust, Hub Vortex, Efficiency, Cavitation Tunnel.

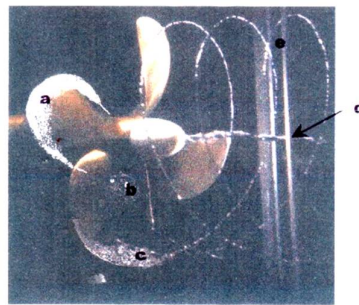
1. PENDAHULUAN

Semua jenis *lifting surface* seperti sayap pesawat maupun daun *propeller* yang berada pada aliran *fluida* dapat menyebabkan terbentuknya *vortices* (sebagian dari vortek). *Vortices* yang terjadi pada *propeller* dapat menimbulkan beberapa efek yang merugikan, antara lain: (1) Mengurangi efisiensi *propeller*, (2) Menyebabkan *vibrasi*/getaran pada struktur di belakang *propeller*, (3) Menyebabkan kegaduhan/*noisy* [1].

Tidak ada suatu standar khusus dalam mengklasifikasi jenis-jenis kavitasi yang terjadi pada *propeller*. Pembagian jenis kavitasi dibawah ini berisi informasi mengenai tempat terjadinya kavitasi, ukuran, struktur serta karakteristik dinamis kavitasi. Berdasarkan strukturnya, kavitasi dapat dikelompokkan dalam (1) *Sheet*

Cavitation, biasanya berbentuk tipis, halus, transparan dan kondisinya stabil. Bentuk lain dari kavitasi jenis ini adalah *Spot Cavitation* yang biasanya terjadi pada permukaan yang kasar (pengerjaan yang kurang sempurna) (2) *Streak Cavitation*, biasanya terjadi paralel pada leading edge (3) *Bubble Cavitation*, berupa kumpulan *bubbles* yang bergerak pada permukaan sirip (4) *Cloud Cavitation*, terjadi pada akhir *sheet cavitation* yang tidak stabil (*unstabel*) [2].

Gambar skematis dari jenis-jenis kavitasi yang terjadi pada *propeller blade* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Sketsa Jenis-Jenis Kavitasi

(a) *Sheet cavitation on face (pressure side cavitation)*, (b) *Bubble cavitation* (c) *Sheet cavitation on back* (d) *Hub vortex cavitation* (e) *Tip vortex cavitation*

Upaya untuk menghilangkan kavitasi secara numerik pada *propeller 5* daun telah diteliti dan mampu meningkatkan performacenya [3], juga pada penelitian untuk menghilangkan hub *vortex* kavitasi [4].

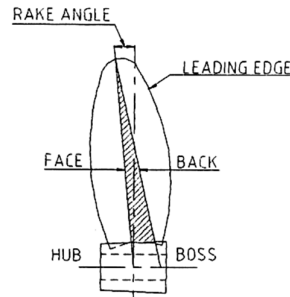
Dari pemaparan diatas maka pada penelitian ini akan dicari bentuk /ukuran fin yang dipasang pada cap guna mengeleminir hub *vortex* yang terjadi pada *propeller 4* daun, menganalisis peningkatan efisiensi *propeller* akibat pemasangan *cap fin* dengan menggunakan uji model di *Cavitation tunnel*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bentuk Geometri *Screw Propeller*

Screw propeller adalah jenis *propeller* yang paling banyak digunakan dalam *marine propulsion device*. *Screw propeller* biasanya terdiri dari dua atau lebih

daun atau sirip *propeller* yang terletak pada *hub* atau boss. Permukaan daun *propeller* terdiri dari *face* (*high pressure side*) dan *back* (*low pressure side*) sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Daun *propeller* [5]

Desain *screw propeller* biasanya terdiri dari empat bagian, yaitu:

- (a) *Side Elevation*, seperti pada gambar memperlihatkan tampak samping dari sebuah *propeller*. Bagian ini juga memperlihatkan variasi ketebalan *blade* maksimum dari ujung (*tip*) ke akar (*root*).
- (b) *Expanded Blade*, memperlihatkan bentuk profil pada radius tertentu, serta ketebalan daun *propeller* yang diukur paralel terhadap sumbu utama.
- (c) *Pitch Diagram*, memperlihatkan variasi pitch pada radius yang diukur dari sumbu utama. Pada contoh gambar *propeller* pada gambar *pitch* konstan pada bagian terluar dari *blade* dan mengecil ke arah *root*.
- (d) *Transverse View*, memperlihatkan proyeksi garis *outline* dan garis tebal *blade* maksimum.

2.2 Efisiensi *Propeller*

Pelaksanaan eksperimen pada terowongan kavitasi meliputi pengukuran gaya dorong dan torsi serta pengamatan terhadap kavitasi yang terjadi. Pada pengukuran efisiensi data yang diperlukan antara lain torsi, gaya dorong (*thrust*), kecepatan aliran fluida dan putaran *propeller*. Efisiensi *propeller* didefinisikan sebagai perbandingan antara daya yang dihasilkan gaya dorong dengan daya yang diberikan terhadap *propeller* sebagai berikut [6]:

$$\eta = \frac{P_T}{P_D} \quad (1)$$

$$P_T = TV_A \quad (2)$$

$$P_D = 2\pi Qn \quad (3)$$

Sehingga rumusan efisiensi menjadi:

$$\eta = \frac{TV_A}{2\pi Qn} \quad (4)$$

dimana :

P_T = daya akibat gaya dorong (*Thrust Power*)

P_D = daya yang diberikan terhadap *propeller*

T = gaya dorong

V_A = kecepatan aliran fluida

n = putaran (rpm)

Q = Torsi

Selain efisiensi, unjuk kerja *propeller* pada umumnya dinyatakan dalam grafik koefisien gaya dorong (KT) dan koefisien torsi (KQ) terhadap *advance ratio* (J). Harga dari koefisien-koefisien tersebut merupakan hasil dari analisa dimensional.

2.3 Penentuan Faktor-faktor Yang Berpengaruh

Secara umum, gaya thrust yang bekerja pada *propeller* dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain [7]:

- Kecepatan aliran fluida (V)
- Densitas/berat jenis fluida (ρ)
- Viskositas fluida (μ)
- Diameter *propeller* (D)
- Percepatan gravitasi (g)
- Kecepatan putar *propeller* (n)
- Tekanan absolut (p)

Dengan demikian dapat diringkas bahwa gaya thrust merupakan fungsi dari faktor-faktor tersebut. Secara matematis dapat disajikan sebagai berikut:

$$T = f(\rho DV g n p \mu) \quad (5)$$

2.4 Teori Pi Buckingham

Teori ini digunakan untuk menyederhanakan bentuk percobaan dengan tetap mendapatkan hasil yang memuaskan. Teori Pi Buckingham merupakan pernyataan hubungan antara fungsi yang diekspresikan dalam parameter dimensional dengan fungsi hubungan yang diekspresikan dalam parameter nondimensional.

$$\frac{T}{\rho D^2 V^2} = f \left[\frac{\mu}{\rho V D}, \frac{g D}{V^2}, \frac{n D}{V}, \frac{p}{\rho V^2} \right] \quad (6)$$

dimana:

$$\frac{T}{\rho D^2 V^2} = \text{Thrust coefficient (K}_T\text{)}$$

$$\frac{\mu}{\rho V D} = \text{Reynold number (Re)}$$

$$\frac{g D}{V^2} = \text{Froude number (fr)}$$

$$\frac{n D}{V} = \text{Advance ratio (J)}$$

Karena luasan permukaan *propeller* $A_0 = (\pi/4)D^2$ proporsional terhadap D^2 ,

maka koefisien thrust dapat dituliskan dalam bentuk : $\frac{T}{\rho A_0 V^2}$

2.5 Similaritas Aliran dan Studi Model

Persamaan menyatakan bahwa bila semua parameter pada sisi kanan persamaan mempunyai harga yang sama maka pola aliran akan sama untuk dua jenis *propeller* bentuk geometrisnya sama tetapi mempunyai ukuran yang berbeda. Jika didefinisikan X adalah *linear scale ratio* antara model *propeller* dengan *propeller* sesungguhnya dan indek S dan M adalah untuk *propeller* sesungguhnya dan model *propeller* maka : $D_S / D_M = \lambda$. Jika model *propeller* diputar pada kecepatan yang sesuai dengan bilangan *Froude*, maka dari hubungan tersebut didapatkan bahwa: $V_S / V_M = \lambda^{0.5}$. Sehingga syarat pertama agar didapatkan

kesamaan aliran adalah bahwa kecepatan aliran pada model dan *propeller* sesungguhnya harus memenuhi hukum kesebandingan *Froude*. Namun jika kita melihat hukum kesamaan kedua yaitu kesamaan bilangan *Reynold*, maka kedua hukum kesamaan tersebut tidak dapat dipenuhi secara bersama-sama. Untuk mengatasi hal tersebut maka model yang dibuat diusahakan sebesar mungkin dengan tetap memperhatikan ukuran peralatan pengujian [8].

Bentuk kesamaan berikutnya yaitu kesamaan nilai *advance ratio* (J) yang harus dipenuhi untuk memenuhi kesamaan kinematis antara model *propeller* dan *propeller* dengan ukuran sebenarnya. Sedangkan untuk bentuk tak berdimensi terakhir yaitu $p / \rho V^2$ tidak sama antara model dan *propeller* sebenarnya karena tekanan atmosfer tidak dapat dikurangi menurut skala.

Kesamaan term ketiga tersebut dipenuhi oleh kesamaan *cavitation number* (σ) nilai kavitasi yang dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{p_0 - p_v}{\frac{1}{2} \rho (V_A)^2} \quad (7)$$

dimana: p_0 = *ambient pressure*
 p_v = *vapor pressure of water*
 ρ = *fluid density*
 V_A = *speed of advance*

Dari uraian di atas dapat diambil kesimpulan bahwa ada tiga aspek yang harus dipenuhi dalam melakukan pengujian model *propeller* pada terowongan kavitasi, yaitu:

1. Model *propeller* yang dibuat diusahakan sebesar mungkin dengan tetap memperhatikan faktor ukuran peralatan pengujian.
2. Harus mempunyai kesamaan *Advance Ratio* (J).
3. Pengujian harus dilakukan pada nilai kavitasi (*cavitation number*, σ) yang sama.

3. METODOLOGI

Dalam penelitian ini akan digunakan analisis data berdasarkan hasil pengujian model yang didapatkan. Model akan dibatasi dengan beberapa parameter ukuran dan jenis/tipe *propeller* yang dipakai sebagai bahan penelitian adalah sebagai berikut :

- a. Ukuran model *propeller* :
 1. Jenis *Propeller*: B series 4.45 No. model 3468
 2. Diameter *Propeller* (D): 203.5 mm
 3. Jumlah daun *propeller* (Z): 4 buah
 4. Putaran *propeller* (n): 2000 rpm di CT
 5. Material *propeller*: BRONZE
- b. Ukuran *Boss Cap Fin*:
 1. Jumlah *fin*: 4 buah
 2. *Type fin*: *constant pitch*
 3. Bahan: *bronze* dengan ketebalan rata-rata 2.5 mm
 4. Perbandingan diameter *boss cap fins* dengan diameter *propeller* (r/R) yang divariasikan, dengan ukuran 0,2 ; 0.25 ; 0.3 ; 0.35 ; 0.4 (r adalah tinggi fin, R adalah jari-jari *propeller*)

Pada eksperimen ini data-data yang dibutuhkan untuk mendapatkan unjuk kerja *propeller* adalah torsi (Q), gaya dorong (T), kecepatan aliran fluida (VA) kecepatan putar model *propeller* (n), dan tekanan absolut didalam tunnel (P) sebagai berikut :

1. Pengukuran torsi dan gaya dorong (*thrust*)

Dilakukan dengan menggunakan **full bridge** tipe **strain gage transducer** yang diletakan pada *Streamlined Body* yang merupakan tambahan poros model *propeller* pada *dynamometer*.
2. Pengukuran kecepatan putar model *propeller* (n)

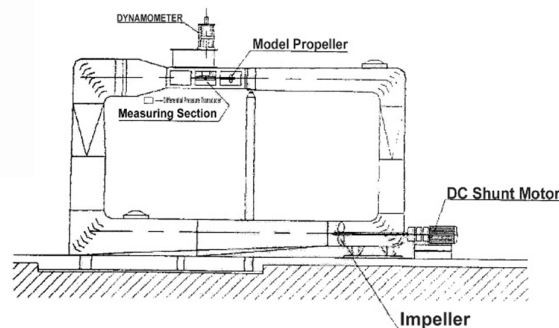
Dilakukan dengan menggunakan **Rotary Encoder** yang dihubungkan secara langsung ke motor penggerak pada *dynamometer*.
3. Pengukuran Kecepatan aliran fluida

Dilakukan dengan menggunakan *differential pressure transducer* dengan *transmitter* type Mannesmann ARK 200.

4. Pengukuran tekanan absolut di dalam *tunnel*

Dilakukan dengan menggunakan *pressure transducer* dengan *transmitter* type Mannesmann AMD 2101230.

Semua pengukuran dan pengujian dilaksanakan dalam sebuah terowongan cavitasi Type K-16 KEMPF & REMMERS GMBH sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3, yang terdapat di Balai Teknologi Hidrodinamika, BPPT, Surabaya



Gambar 3. Cavitation Tunnel Type K-16 KEMPF & REMMERS GMBH

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang didapat dari hasil percobaan model pada kondisi pada saat percobaan:

Tekanan Tunnel : 575 hPa

Suhu Tunnel : 29.6°

Barometer : 1011 mm Hg

Semua data yang dihasilkan dari percobaan, dibuat dalam suatu tabel yang berisi putaran *propeller*, kecepatan air diseksi uji, gaya dorong (*Thrust*), dan torsi yang dihasilkan.

Dengan data-data seperti diatas dihitung berapa besar Koefisien Propulsi (KT, KQ, dan η) untuk masing-masing kecepatan aliran. Bila besarnya Koefisien Propulsi dan Effisiensi telah diketahui, dibuatlah diagram grafik KT, KQ, Effisiensi Terhadap J untuk dianalisa bagaimana pengaruh pemasangan fin dibelakang propeller terhadap kinerja *propeller* dan dicari ukuran ketinggian fin (r/R) yang tepat.

Data yang diperoleh dari percobaan diatas lalu dihitung dengan menggunakan rumus-rumus : KT, KQ, J, dan Effisiensi (η) dengan contoh perhitungan sebagai berikut:

dimana: $\rho = 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

$$D = 203.5 \text{ mm}$$

Data dari hasil percobaan :

➤ $n = 32.663 \text{ (rps)}$; $V = 0.51747 \text{ (m/s)}$; $T = 864.072 \text{ (N)}$; $Q = 32.358 \text{ (Nm)}$

Sehingga:

$$J = \frac{V}{n * D} = \frac{0.51747}{32.663 * 203.5} = 0.077851$$

$$KT = \frac{T}{\rho * n^2 * D^4} = \frac{864.072}{1000 * (32.663)^2 * (203.5)^4} = 0.472259$$

$$KQ = \frac{Q}{\rho * n^2 * D^5} = \frac{32.358}{1000 * (32.663)^2 * (203.5)^5} = 0.086906$$

$$\eta = \frac{KT * J}{2\pi * KQ} = \frac{0.472259 * 0.077851}{6.28 * 0.086906} = 0.0673655$$

Dari hasil perhitungan data seperti pada contoh diatas, maka akan didapatkan nilai KT, KQ, Effisiensi perhitungan hasil pengujian dibuat dalam suatu tabel sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil perhitungan koefisien-koefisien *propeller* dengan *cap* standar

Input				Output / Perhitungan			
n	V	T	Q	J	KT	KQ	Eff.
32.663	0.51747	864.072	32.358	0.077851	0.472259	0.086906	0.0673655
32.656	1.37153	847.64	31.577	0.206385	0.463477	0.084844	0.1795243
32.648	2.18654	807.424	29.904	0.329106	0.441703	0.080389	0.2879477
32.659	2.82356	736.707	27.149	0.424844	0.402746	0.072933	0.3735730
32.664	3.50348	642.787	23.829	0.527067	0.351294	0.063995	0.4607145
32.678	4.21011	526.095	20.257	0.633102	0.287274	0.054355	0.5328039
32.676	4.93835	409.895	17.034	0.742657	0.223850	0.045713	0.5790943
32.66	5.64873	305.839	13.984	0.849905	0.167187	0.037564	0.6023327
32.656	6.35161	210.059	11.044	0.955777	0.114857	0.029674	0.5890825
32.646	7.05727	105.535	7.697	1.062288	0.057740	0.020694	0.4719784

Tabel 2. Hasil perhitungan koefisien-koefisien *propeller* dengan *cap fin delta* dengan $r/R = 0.4$

Input				Output / Perhitungan			
n	V	T	Q	J	KT	KQ	Eff.
32.671	0.7985	851.8922	32.70903	0.120101	0.465374	0.087805	0.10136075
32.685	1.4435	835.2566	31.98857	0.217022	0.455895	0.085798	0.18362582
32.66	1.9875	811.1638	31.16003	0.299038	0.443423	0.083703	0.25225629
32.69	2.9075	724.5441	28.17011	0.437059	0.395346	0.075533	0.36426835
32.682	4.0876	582.2814	21.72817	0.614604	0.317876	0.058289	0.53371559
32.676	4.2245	546.1421	20.82759	0.635305	0.298257	0.055893	0.53982553
32.668	5.6358	333.3216	14.99184	0.847752	0.182121	0.040252	0.61077591
32.68	7.1024	131.4004	8.93995	1.067969	0.071742	0.023986	0.50865701
32.82	7.5125	36.7498	6.058095	1.124816	0.019894	0.016115	0.22110836

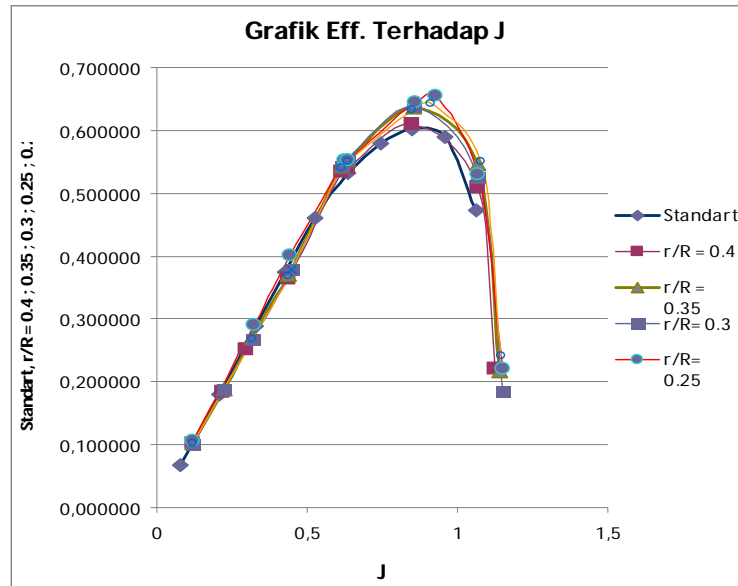
Tabel 3. Hasil perhitungan koefisien-koefisien *propeller* dengan *cap fin delta* dengan $r/R = 0.35$

Input				Output / Perhitungan			
n	V	T	Q	J	KT	KQ	Eff.
32.658	0.8048	850.1713	32.49289	0.121097	0.464804	0.087295	0.10267314
32.685	1.4782	834.1094	31.79044	0.222239	0.455269	0.085266	0.18895202
32.664	2.1187	809.4428	30.87185	0.318739	0.442374	0.082909	0.27080954
32.66	2.9154	723.3968	27.79187	0.438649	0.395445	0.074656	0.36998246
32.675	4.0856	582.2814	21.40396	0.614435	0.318012	0.057443	0.5416508
32.684	4.2362	546.1421	20.39531	0.636908	0.298111	0.054706	0.55265863
32.678	5.6754	331.6007	14.39746	0.853447	0.18107	0.038633	0.63695818
32.659	7.0836	134.268	8.47165	1.065827	0.073403	0.022758	0.54739139
32.665	7.5865	31.587	5.39166	1.141286	0.017262	0.014479	0.21666286

Tabel 4. Hasil perhitungan koefisien-koefisien *propeller* dengan *cap fin delta* dengan $r/R = 0.3$

Input				Output / Perhitungan			
n	V	T	Q	J	KT	KQ	Eff.
32.634	0.7895	850.1713	32.52891	0.118882	0.465488	0.08752	0.10068369
32.636	1.4782	832.9621	31.77243	0.222573	0.456009	0.085474	0.18908255
32.656	2.1025	808.8692	30.83582	0.31638	0.442277	0.082853	0.26892809
32.658	2.9865	723.9705	27.77386	0.449375	0.395808	0.074617	0.37957528
32.64	4.0856	579.9868	21.27788	0.615094	0.317439	0.057228	0.54329512
32.662	4.2368	544.4212	20.26923	0.637427	0.297572	0.054441	0.554796
32.632	5.6756	329.8798	14.32541	0.85468	0.180639	0.038548	0.63775975
32.645	7.0784	125.0903	8.21948	1.065501	0.068444	0.0221	0.52545808
32.658	7.6435	24.70332	5.013424	1.150107	0.013506	0.013469	0.18363858

Sementara dalam bentuk grafik dapat digambarkan sebagaimana terlihat pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram Efisiensi Propeller

Dalam menganalisa data-data dari percobaan terhadap model *propeller* jenis B series 4.45 (Model No. 3468) selain dilakukan perhitungan juga dilakukan pengamatan kavitasi yang terjadi baik di daun *propeller* ataupun pada *cap propeller* (*Hub vortex cavitation*) melalui foto-foto saat percobaan.

Dengan melalui percobaan dan pemasangan *fins* berbentuk delta yang divariasikan luasannya (*cap fin* dan variasinya dapat dilihat pada gambar) dengan cara mengubah ketinggian *fins* (r/R) ternyata didapatkan hasil yang cukup memuaskan yaitu tidak tampak lagi *hub vortex cavitation* yang artinya sifat-sifat merugikan yang ditimbulkan oleh kavitasi *hub vortex* dapat dikurangi, sehingga efisiensi *propeller* akan meningkat hal ini sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 4.

Untuk lebih jelasnya data- data efisiensi maksimum yang didapat dari hasil pengukuran pada model *propeller* standar maupun yang dimodifikasi disusun dalam tabel 5, sebagai berikut :

Tabel 5. Efisiensi maksimum pada tiap-tiap PBCF

Type	r/R	Efisiensi maks.
Cap standar	-	0.602333
PBCF-1	0.4	0.610776
PBCF-2	0.35	0.636958
PBCF-3	0.3	0.637760
PBCF-4	0.25	0.654057
PBCF-5	0.2	0.642214

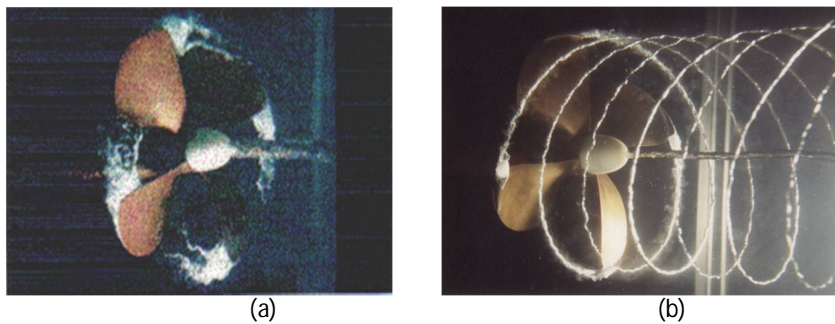
Kenaikan efisiensi akibat pemakaian *fin* pada *Cap* terhadap *Cap* standar dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Kenaikan Efisiensi maksimum dengan pemasangan *fin* pada *Cap*

Type	r/R	Kenaikan Efisiensi
PBCF-1	0.4	1.4
PBCF-2	0.35	5.7485
PBCF-3	0.3	5.882
PBCF-4	0.25	8.587
PBCF-5	0.2	6.621

Pengamatan kavitasi *hub vortex* (Observasi Kavitasi)

Dari pengamatan uji coba model *propeller* dalam percobaan dapat dilihat dengan jelas perbedaannya, dimana pada model *propeller* dengan *cap* standar masih dijumpai adanya kavitasi *hub vortex* yang bersifat sangat tebal dan stabil seperti terlihat pada gambar 5.

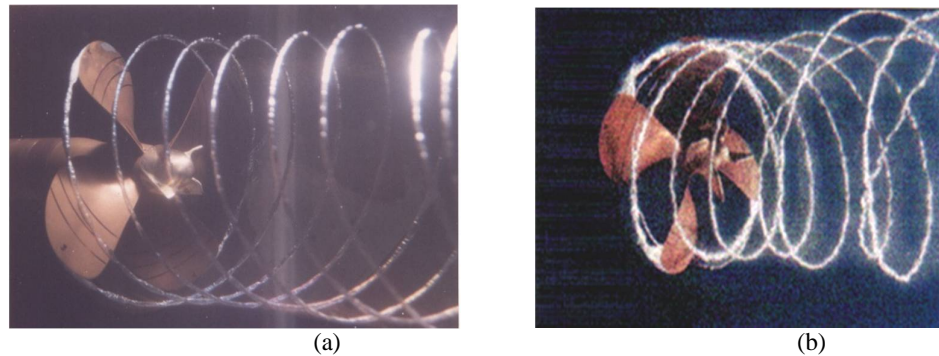
Gambar 5. *Propeller* dengan *Cap* standar pada *Heavy loading* (a) dan *moderate loading* (b)

Sedangkan pada model *propeller* yang dimodifikasi, *hub vortex* kavitasi sudah tidak tampak (tereliminir) baik pada saat beban rendah atau nilai *J* rendah maupun pada saat nilai *J* tinggi seperti terlihat pada gambar 6.

Dan hasil pengamatan uji coba model *propeller* pada saat percobaan dapat dilihat dalam tabel 7 apakah terjadi kavitasasi atau tidak.

Tabel 7. Pengamatan *hub vortex* pada foto percobaan model *propeller*

Type	r/R	Kavitasi hub vortex
Cap standar	-	Terjadi
PBCF-1	0.4	Tidak terjadi
PBCF-2	0.35	Tidak terjadi
PBCF-3	0.3	Tidak terjadi
PBCF-4	0.25	Tidak terjadi
PBCF-5	0.2	Tidak terjadi



Gambar 6. *Propeller* dengan *Cap fin* $r/R = 0.25$ (a) dan $r/R = 0.35$ (b) pada *moderate loading*

5. KESIMPULAN

Dengan memasang sirip/*fin* pada boss *cap* kami menemukan bahwa dari hasil pengamatan saat percobaan model berlangsung dan perhitungan data hasil percobaan model dapat menghasilkan keunggulan teknologi antara lain:

- Dapat memperbaiki bentuk aliran (distribusi kecepatan) pada daerah sekitar *hub propeller*.
- Dapat menghilangkan kavitasasi *hub vortex*.
- Dengan adanya *fin* pada *cap*, didapatkan penurunan nilai torsi (dengan tidak adanya *hub vortex*).
- Dapat meningkatkan efisiensi, dimana dari hasil perhitungan data percobaan didapatkan efisiensi maksimum dicapai pada penggunaan PBCF-4 dengan ketinggian fin (r/R) = 0.25 dari jari-jari *propeller* yaitu efisiensinya mencapai 0.654057 atau meningkat 8.58% dari *propeller* standar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Van Oossanen, IR P (1972), “*Cavitation Testing Of Marine Propeller*“, N.S.M.B Publication No : 418, Rotterdam.
- [2] Kuiper, G (1992), “*The Wageningen Propeller Series*“ , Marine.
- [3] Kurt Mizzi, et al., (2017), “*Design optimisation of Propeller Boss Cap Fins for enhanced propeller performance, Applied Ocean Research*”, Volume 62, Pages 210-222
- [4] Ouchi. K, Kawasaki. T, dan Tamashima. M (1990), “*Propeller Efficiency Enhanced By PBCF (Propeller Boss Cap Fins)*” , ISME (International Symposium Of Marine Engineering), Kobe Japan.
- [5] International Towing Tank Conference (2002), “*Propulsion, Performance Uncertainty Analysis, Example for Propulsion Test*” Seri 7.5-02 03-01.2, Edition Revisi.
- [6] ITTC, (2005), “*Testing and Extrapolation Methods Propulsion, Cavitation Podded Propulsor Model – Scale Cavitation Test*” Seri 7.5-02 03-03.6, Edition Revisi.
- [7] Harvald, Sv.Aa (1983). “*Resistance And Propulsion Of Ship*“, Departement of Ocean Engineering The Technical University Of Denmark, Lyngby.
- [8] Tamashima. M, Yang. CJ, Ouchi. K (1992), “*Calculation Of The Performance Of Propeller With Boss Cap Fins In Uniform Flow*“ ISPC (International Symposium On Propeller and Cavitation), Hangzhou China.