



TESIS

Studi Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan *Hub Cap* Terhadap Efisiensi Baling - Baling Kapal Pada Pemasangan *Propeller Boss Cap Fins* (PBCF)

Insanu Abdilla Cendikia Abar

04111650032001

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Si., Ph.D

NIP. 196704061992031001

PROGRAM MAGISTER

TEKNIK PRODUKSI DAN MATERIAL KELAUTAN

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

TESIS

Studi Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan *Hub Cap* Terhadap Efisiensi Baling - Baling Kapal Pada Pemasangan *Propeller Boss Cap Fins* (PBCF)

**Insanu Abdilla Cendikia Abar
04111650032001**

DOSEN PEMBIMBING

**Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Si., Ph.D
NIP. 196704061992031001**

**PROGRAM MAGISTER
TEKNIK PRODUKSI DAN MATERIAL KELAUTAN
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

TESIS

**Study Into the influence of Inclined Angle of
Hub Cap against The Efficiency of Propeller
Ship in the Presence of PBCF**

**Insanu Abdilla Cendikia Abar
04111650032001**

SUPERVISOR

**Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Si., Ph.D
NIP. 196704061992031001**

**MASTER PROGRAM
PRODUCTION AND MATERIAL TECHNOLOGY OF MARINE
PROGRAM STUDY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

Studi Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan Hub Cap Terhadap Efisiensi Baling – Baling Kapal Pada Pemasangan Propeller Boss Cap Fins (PBCF)

TESIS

Disusun untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Magister Teknik (M.T.)

di

Bidang Keahlian Teknik Produksi dan Material Kelautan
Program Pascasarjana Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Insanu Abdilla Cendikia Abar
NRP. 04111650032001

Tanggal Ujian : 20 – 07 – 2018
Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh:

1. **Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.**

NIP. 19670406 199203 1 001

2. **Prof. Ir. Achmad Zubaydi M.Eng, Ph.D.**

NIP. 19590505 198403 1 012

3. **Aries Sulisetyono, S.T., MA.Sc., Ph.D.**

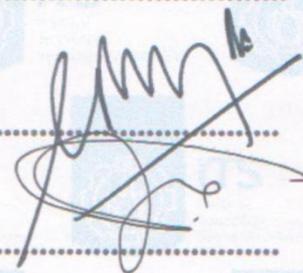
NIP. 19710320 199512 1 002

4. **Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.**

NIP. 19691231 200604 1 78



.....



.....

.....



.....



Pelaksana Tugas Dekan Fakultas Teknologi Kelautan

Prof. Ir. Arif Djunaidy, M.Sc., Ph.D.

NIP. 19581005 198603 1 003

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayat serta inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul “Studi Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan Hub Cap Terhadap Efisiensi Baling – Baling Kapal Pada Pemasangan Propeller Boss Cap Fins (PBCF)”. Selama pengerjaan Tugas Akhir penulis mendapatkan banyak dukungan, bimbingan, bantuan, serta saran-saran dari beberapa pihak. Untuk itu tidak lupa pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Ir. I Ketut Arya Pria Utama, M.Sc., Ph.D. Dosen Wali, dan Dosen Pembimbing yang telah berkenan meluangkan waktu beliau yang padat, membagikan ilmu dan memberikan arahan dalam pengerjaan Tesis ini.
2. Kedua orang tua dan adik tercinta penulis, yang telah mendoakan, mendukung, dan terus memberikan semangat untuk terus meraih impian setinggi – tingginya, semoga Allah SWT terus memberikan kasih sayang dan perlindungannya kepada ketiganya.
3. Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng., D.Eng, selaku direktur UPT. DRKN yang telah memberikan fasilitas berupa sarana prasana guna mengerjakan dan menyelesaikan tesis ini.
4. Teman-teman seangkatan S2, seperjuangan dan semua pihak yang telah membantu pengerjaan Tesis ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan Tesis ini masih memiliki beberapa kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Penulis berharap semoga tesis ini dapat menjadi ilmu yang berguna bagi siapapun yang membaca dan berusaha mengkajinya lebih dalam untuk kemanfaatan bersama. Penulis berharap semoga Tesis ini dapat diterima dan bermanfaat sebagai referensi bagi banyak pihak.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Studi Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan Hub Cap Terhadap Efisiensi Baling – Baling Kapal Pada Pemasangan Propeller Boss Cap Fins (PBCF)

Nama Mahasiswa : Insanu Abdilla Cendikia Abar
NRP : 04111650032001
Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. I.K.A.P Utama, M.Sc, Ph.D

ABSTRAK

Propeller Boss Cap Fins (PBCF) juga merupakan sebuah terobosan *energy saving device* (ESD) dalam mengefesiesikan kinerja baling – baling kapal dan mesin penggerak utama. Sejak tahun 1987 PBCF telah diakui sebagai ESD dalam efektifitasnya baik dalam pengujian dengan pemodelan maupun ukuran sebenarnya. Mekanisme kerja PBCF sendiri yaitu dengan menghilangkan *vortex* pada bagian *hub* baling – baling sehingga meningkatkan efisiensi baling – baling kapal.

Hub baling – baling utama merupakan tempat dipasangnya PBCF. Bentuk dari *hub* baling – baling berpengaruh besar pada terciptanya *hub vortex*. Sehingga pada penelitian ini, akan dilakukan analisa pengaruh pada sudut kemiringan *hub cap* baling – baling kapal terhadap penambahan *fins*. Sehingga dapat diketahui bentuk dan sudut kemiringan *hub* pada PBCF yang paling optimal. Dipilihlah dua jenis tipe *hub cap*, yaitu konvergen dan divergen.

Setelah dilakukan analisa dan simulasi menggunakan perangkat Computational Fluid Dynamic (CFD) didapatkan hasil performa yang berbeda dari kedua tipe *hub cap* tersebut. Untuk konvergen *cap* semakin bertambahnya sudut kemiringan didapatkan kenaikan efisiensi, baik konvensional *cap* maupun PBCF. Sebaliknya Divergen *cap* memperoleh penurunan efisiensi seiring bertambahnya sudut kemiringan, baik konvensional *cap* maupun PBCF.

Kata kunci : *Propeller Boss Cap Fins, Energy Saving Device, Hub Vortex.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
ABSTRAK	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR SIMBOL	xviii
BAB 1	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat.....	4
1.5 Hipotesa.....	5
1.6 Batasan Masalah.....	5
BAB 2	7
KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1. Kajian Pustaka	7
2.2. <i>Propeller Boss Cap Fins</i>	8
2.3. Penelitian dan Pengembangan <i>Propeller Boss Cap Fins</i>	9
2.4. <i>Track Record Propeller Boss Cap Fins</i>	10
2.5. Performa Pada Kapal Seungguhnya	11
2.6. Simulasi Numerik Fluida Disekitar PBCF	12
2.7. Geometri Hub Baling – Baling.....	16
2.8. Geometri Baling – Baling.....	16
2.9. Karakteristik Baling-baling Kapal.....	17
2.10. Macam Variasi Pada PBCF.....	18
2.11. Kavitasi dan Vortex pada Baling – Baling	21
BAB III.....	23
METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1. Tahapan penelitian	23
3.2. Studi Literatur.....	24
3.3. Pengumpulan Data Awal.....	24

3.4.	Pemodelan Matematis Baling - Baling	24
3.5.	Validasi Model.....	26
3.6.	<i>Computational Fluid Dynamic Method</i>	26
3.7.	Pre Processor.....	26
3.8.	Solver Manager	27
3.9.	Post Processor	27
3.10.	<i>Plan Schedule</i> Penelitian	27
BAB IV		29
PEMBAHASAN.....		29
4.1	Pemodelan.....	29
4.2	Proses Analisa CFD	30
4.2.1	Pemodelan Kondisi Batas CFD	30
4.2.2	Pemodelan <i>Meshing</i> CFD	32
4.2.3	Pengaturan CFD.....	34
4.2.4	Iterasi CFD.....	34
4.2.5	Hasil CFD	35
4.3	Hasil Analisa dan Simulasi CFD	38
4.3.1	Penambahan PBCF	38
4.3.2	Modifikasi Bentuk <i>Hub Cap</i>	40
4.3.3	Variasi Bentuk <i>Hub Cap</i>	41
4.3.4	Variasi Bentuk <i>Hub Cap</i> dan Penambahan PBCF.....	57
BAB V		71
KESIMPULAN DAN SARAN.....		71
5.1	Kesimpulan	71
5.2	Saran	72
DAFTAR PUSTAKA		73
Lampiran		
Lampiran 1 : Setting CFD		
Lampiran 2 : Bentuk Aliran dan Kontur Aliran		
Lampiran 3 : Perhitungan Validasi		
BIODATA PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Contoh <i>Hub Vortex</i> (Ghasemmi dkk, 2012).....	2
Gambar 1. 2 <i>Propeller Boss Cap Fins</i> (Hansen dkk, 2011).....	2
Gambar 2. 1 <i>Propeller Boss Cap Fins</i> (Nojiri dkk, 2011).....	9
Gambar 2. 2 <i>Arrangement Normal POT and Reverse POT</i> (Nojiri dkk, 2011).....	9
Gambar 2. 3 Hasil Penelitian Efisiensi PBCF terhadap <i>Hub Propeller</i> biasa (Nojiri dkk, 2011)	10
Gambar 2. 4 <i>Track Record</i> (Nojiri dkk, 2011).....	10
Gambar 2. 5 Simulasi <i>Vortex</i> (Nojiri dkk, 2011).....	13
Gambar 2. 6 Distribusi Kecepatan Pada Daerah Belakang (Nojiri dkk, 2011).....	14
Gambar 2. 7 Distribusi Kecepatan Pada Daerah Tengah (Nojiri dkk, 2011).....	14
Gambar 2. 8 Distribusi Kecepatan Pada Daerah Ujung <i>Hub Propeller</i> (Nojiri dkk, 2011)	15
Gambar 2. 9 Distribusi Tekanan pada <i>Boss Cap</i> (Nojiri dkk, 2011)	15
Gambar 3. 1 Flow Chat Penelitian	23
Gambar 3. 2 Desain PBCF (Seo dkk,2016)	25
Gambar 4. 1 Model 3 Dimensi Baling - Baling	30
Gambar 4. 2 Domain Boundary	31
Gambar 4. 3 Grafik <i>Grid Independence</i>	33
Gambar 4. 4 Meshing 1 Juta Elemen	33
Gambar 4. 5 Iterasi CFD.....	35
Gambar 4. 6 Perbandingan Tekanan Axial Pada Non PBCF dan PBCF	39
Gambar 4. 7 Perbandingan setelah penambahan PBCF dan sebelum pemasangan pada aliran <i>vortex</i>	40
Gambar 4. 8 Bentuk <i>Hub Cap</i> [Kawamura dkk, 2013].....	41
Gambar 4. 9 Bentuk <i>Hub Cap</i> Setelah ditambahkan <i>fins</i>	41
Gambar 4. 10 Simulasi Vektor Aliran Pada Hub Cap Jenis Konvergen.....	44
Gambar 4. 11 Simulasi Vektor Aliran Pada Hub Cap Jenis Konvergen.....	45
Gambar 4. 12 Simulasi Vektor Aliran Pada Hub Cap Jenis Konvergen.....	46
Gambar 4. 13 Simulasi Vektor Aliran Pada Hub Cap Jenis Divergen.....	48
Gambar 4. 14 Simulasi Vektor Aliran Pada Hub Cap Jenis Divergen.....	49
Gambar 4. 15 Simulasi Vektor Aliran Pada Hub Cap Jenis Divergen.....	50
Gambar 4. 16 Perbandingan K_T	51
Gambar 4. 17 Perbandingan K_Q	52
Gambar 4. 18 Perbandingan Efisiensi.....	53
Gambar 4. 19 Perbandingan Axial Pressure (a) 5 derajat (b) 15 derajat.....	54
Gambar 4. 20 Perbandingan Streamline pada konvergen cap dan divergent cap 5 derajat.....	55
Gambar 4. 21 Perbandingan Streamline pada konvergen cap dan divergent cap 15 derajat.....	56
Gambar 4. 22 Grafik Perbandingan Konvergen Cap non PBCF dan PBCF.....	59
Gambar 4. 23 Tekanan axial pada hub cap konvergen dengan kemiringan 5 derajat	59

Gambar 4. 24 Tekanan axial pada hub cap konvergen dengan kemiringan 10 derajat	60
Gambar 4. 25 Tekanan axial pada hub cap konvergen dengan kemiringan 15 derajat	61
Gambar 4. 26 Perbandingan tekanan axial pada kemiringan hub cap 5 derajat tipe konvergen	62
Gambar 4. 27 Perbandingan Aliran pada kemiringan hub cap 5 derajat tipe konvergen	63
Gambar 4. 28 Grafik Perbandingan Divergent Cap non PBCF dan PBCF	64
Gambar 4. 29 Tekanan axial pada hub cap divergen dengan kemiringan 5 derajat	65
Gambar 4. 30 Tekanan axial pada hub cap divergen dengan kemiringan 10 derajat	66
Gambar 4. 31 Tekanan axial pada hub cap divergen dengan kemiringan 15 derajat	67
Gambar 4. 32 Perbandingan tekanan axial pada kemiringan hub cap 5 derajat tipe divergen	69
Gambar 4. 33 Perbandingan Aliran pada 15 derajat Divergent Cap PBCF	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Hasil Analisa dari PBCF penyimpanan bahan bakar pada kapal aktual selama beberapa tahun terakhir.....	11
Tabel 2. 2 Penelitian dan Parameter Variasi PBCF	19
Tabel 3. 1 Parameter Propeller	24
Tabel 3. 2 Nilai Efisiensi Baling – Baling.....	26
Tabel 4. 1 Parameter Utama Baling - Baling	29
Tabel 4. 2 Grid Independence	32
Tabel 4. 3 Perbandingan Hasil Analisa	35
Tabel 4. 4 Perbandingan Hasil Analisa Penambahan PBCF.....	38
Tabel 4. 5 Hasil Analisa Variasi <i>Hub Cap</i> Tipe Konvergen.....	42
Tabel 4. 6 Hasil Analisa Variasi Pada Jenis Divergen <i>Cap</i>	47
Tabel 4. 7 Hasil Analisa Variasi PBCF pada Tipe Konvergen <i>Cap</i>	57
Tabel 4. 8 Perbandingan Efisiensi PBCF pada Konvergen <i>Cap</i>	58
Tabel 4. 9 Hasil Analisa Variasi PBCF pada tipe divergen cap.....	63
Tabel 4. 10 Perbandingan Efisiensi PBCF pada tipe divergen <i>Cap</i>	64

DAFTAR SIMBOL

K_T	= Koefisien gaya dorong baling-baling
K_Q	= Koefisien torsi baling-baling
K_P	= Koefisien Tekanan
J	= Koefisien <i>advanced</i> baling-baling
V_a	= kecepatan <i>advanced</i> (m/s)
D	= diameter <i>propeller</i> (m)
n	= putaran <i>propeller</i> (rps)
T	= <i>thrust propeller</i> (N)
Q	= <i>torque propeller</i> (N m)
ρ	= massa jenis fluida (Kg/m ³)
η_0	= efisiensi baling – baling
F	= Gaya Dorong / Gaya (N)
V_e	= Kecepatan (m/s)
Δp	= Perbedaan Tekanan (Pa)
α	= Luasan Penampang (m ²)
p	= Tekanan (Pa)
ω	= RPM
P_w	= Power / Tenaga (J)

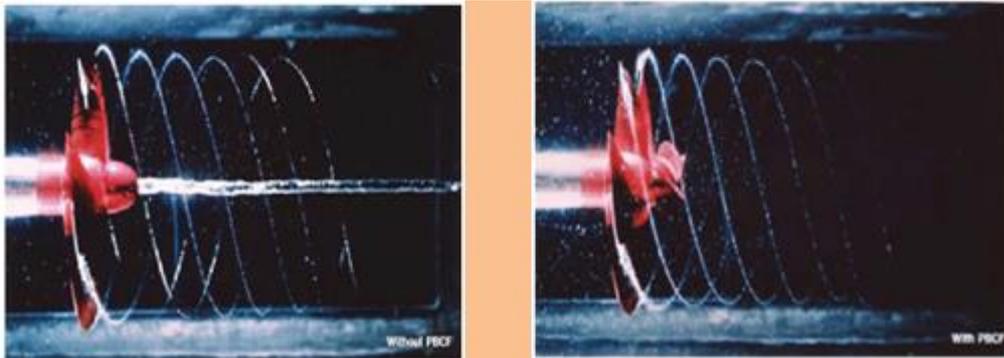
BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

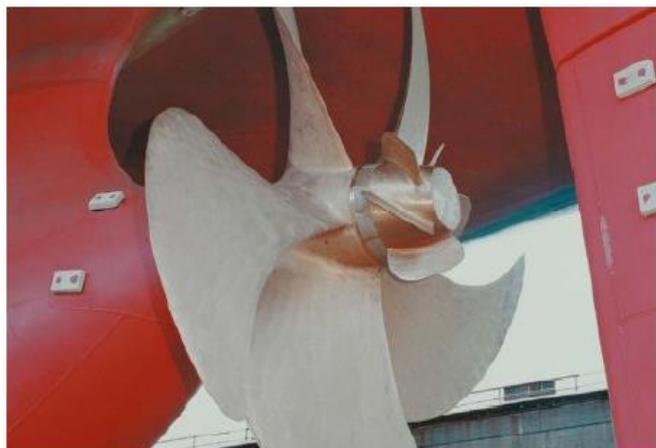
Baling – baling utama kapal merupakan salah satu bagian terpenting pada kapal yang mempengaruhi efektifitas kinerja kapal dan juga fungsi ekonomis sebuah kapal. Apabila kinerja sebuah propeller tidak maksimum maka akan berpengaruh pada konsumsi bahan bakar yang berimbas pada fungsi ekonomis dari kapal tersebut. Untuk kapal dengan muatan berlebih diperlukan *power* yang besar dalam menggerakkan kapal. Maka beban kerja baling – baling kapal pun akan meningkat pesat yang mengakibatkan banyak terjadinya masalah seperti kavitasi.

Salah satu permasalahan yang sering timbulkan karena beban kerja propeller yang terlalu berat adalah *hub vortex*. Peningkatan beban muatan pada *blade root* dapat menciptakan *hub vortex*. *Hub vortex* dibelakang propeller dapat mengonsumsi 1 – 3 % dari *power* yang diciptakan mesin utama. Semakin kuatnya *hub vortex* dapat mengakibatkan permasalahan seperti kebisingan, vibrasi, dan korosi pada rudder (Seo dkk, 2015). Bahaya dari efek *hub vortex* sendiri dapat menciptakan korosi pada *rudder* di daerah aliran *vortex* berlangsung (Ghasemmi dkk, 2012). *Vortex* sendiri dipengaruhi oleh distribusi beban *axial* pada *propeller* dan geometri dari *hub* (Ghasemmi dkk, 2012). Dapat diasumsikan semakin bentuk hub mengruncut dan sudut antara aliran axial yang melalui *blade root* dengan hub adalah 0 derajat maka aliran pun akan terfokus pada hub lalu dilanjutkan kearah kemudi. Hal ini akan sangat merugikan dari segi ekonomis kapal dimana *power* yang diciptakan mesin utama akan berkurang. Usia dari baling – baling kapal dan kemudi pun akan berkurang akibat termakan oleh korosi.



Gambar 1. 1 Contoh *Hub Vortex* (Ghasemmi dkk, 2012).

Berikut ilustrasi fungsi utama dari PBCF pada Gambar 1.1 yaitu memperbaiki aliran dengan cara menghilangkan aliran hub vortex pada baling – baling. Sehingga *digunakanlah Propeller Boss Cap Fin (PBCF)* sebagai solusi dari permasalahan *hub vortex*. PBCF juga merupakan sebuah terobosan *energy saving devices (ESDs)* dalam mengefisienkan kinerja *propeller*. Sejak tahun 1987, PBCF telah diakui sebagai *ESDs* dalam efektifitasnya baik dalam pengujian dengan pemodelan maupun ukuran sebenarnya. Dengan analisa statistika dari data beberapa kapal pengangkut mengindikasikan kenaikan efisiensi sebesar 3% -7% (Cheng dan Hao- Peng, 2014). Pada Gambar 1.2 dapat dilihat ilustrasi letak pemasangan dari PBCF pada baling – baling kapal.



Gambar 1. 2 *Propeller Boss Cap Fins* (Hansen dkk, 2011).

Pada kapal – kapal bermuatan besar dimana membutuhkan tenaga yang besar dalam menggerakkan kapal, pastilah akan menimbulkan banyak masalah

seperti borosnya bahan bakar dan peningkatan emisi gas buang mesin akibat beratnya kerja mesin. Masalah pemborosan dalam penggunaan bahan bakar fossil dan emisi bahan bakar menjadi masalah utama yang menjadi salah satu titik mula dicetuskannya berbagai macam studi mengenai *energi saving device* sebagai sebuah solusi dari hal tersebut. Internasional Marine Organization (IMO) juga memberlakukan Energy Effesien Design Index (EEDI) yang mulai dijadwalkan dilakukan pada bulan januari 2014 untuk mengurangi karbon dioksida dalam operasi kapal (Ghasemmi dkk, 2012). Maka pengembangan PBCF ini sebagai salah satu solusi dalam efesiensi kinerja kapal menjadi sebuah studi menarik yang masih perlu dikembangkan.

Mekanisme PBCF dalam hydrodinamika sendiri dapat dirangkum sebagai berikut : (1) Propeller *thrust* akan meningkat dengan menurunnya tekanan didaerah belakang *boss cap* dengan dipecahnya *hub vortex*. (2) Total *Torque* akan berkurang dengan adanya tambahan *fin* yang menimbulkan gaya tambahan dari aliran dari sela – sela *trailing edge*. (Cheng dan Hao- Peng, 2014)

Dari hal diatas timbul ide dimana hubungan antara pengaruh pengaturan *sudut kemiringan* dari PBCF yang berpengaruh pada fenomena *hub vortex*. Maka akan dilakukan studi lebih lanjut terhadap bentuk geometri *hub propeller* yang nantinya akan dikombinasikan dengan penggunaan PBCF. Desain *hub propeller* yang akan digunakan disini yaitu (a) *Convergent Type* (b) *Straight Type* dan (c) *Divergent Type* yang nantinya akan diatur sudut kemiringannya. Setelah dilakukan variasi sudut kemiringan *hub* maka akan ditambahkan *fins* untuk melihat seberapa besar efesiensi yang dihasilkan dari setiap variasi sudut kemiringan *hub propeller* tersebut. Dan semua hal diatas tersebut nantinya akan disimulasikan menggunakan metode CFD sehingga dapat menjelaskan fenomena yang terjadi secara visual. Tujuan dari penelitian ini adalah mencari sudut kemiringan yang tepat dari setiap tipe hub yang akan diberikan tambahan *fins* maupun tanpa penambahan *fins*. Sehingga nantinya dapat menambah pengetahuan dalam pengembangan konfigurasi PBCF itu sendiri.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, pokok permasalahan dari penelitian ini perlunya pengembangan lebih lanjut terhadap komponen propulsi yaitu PBCF sebagai salah satu *energy saving device*. Adapun masalah yang ada dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh pengaturan sudut kemiringan pada geometri hub baling – baling terhadap efisiensi, *contour* kavitasi, dan bentuk aliran *downstream* ?
2. Bagaimana pengaruh setelah ditambahkan *fins* tiap variasi sudut kemiringan hub baling – baling terhadap efisiensi, *contour* kavitasi, dan bentuk aliran *downstream* ?
3. Bagaimana perbandingan hasil efisiensi, *contour* kavitasi, dan bentuk aliran *downstream* pada baling – baling sebelum dan setelah dipasang *fins* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh pengaturan sudut kemiringan pada geometri hub baling – baling terhadap efisiensi, *contour* kavitasi, dan bentuk aliran *downstream*.
2. Mengetahui pengaruh setelah ditambahkan *fins* tiap variasi sudut kemiringan hub baling – baling terhadap efisiensi, *contour* kavitasi, dan bentuk aliran *downstream*.
3. Mengetahui perbandingan hasil efisiensi, *contour* kavitasi, dan bentuk aliran *downstream* pada baling – baling sebelum dan setelah dipasang *fins*.

1.4 Manfaat.

Manfaat yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menjadi salah satu sumbangan pemikiran dalam pengembangan Propeller Boss Cap Fins sebagai salah satu Energy Saving Device guna menanggulangi permasalahan penghematan bahan bakar fosil.

2. Memberikan informasi lebih tentang konfigurasi sudut kemiringan propeller sehingga dapat digunakan sesuai jenis kapal yang membutuhkan.
3. Menjadi sebuah solusi dalam menanggapi peraturan IMO 2014 mengenai penggunaan bahan bakar fosil dan permasalahan gas buang.

1.5 Hipotesa

Dalam proses penelitian ini diperoleh hipotesa sebagai berikut :

1. Untuk ke tiga tipe *hub propeller*, bentuk *convergent* paling mudah menyebabkan *hub vortex* dan *divergent* paling kecil menghasilkan *hub vortex*.
2. Untuk ke tiga tipe *hub propeller* dengan penambahan *fins*, bentuk *convergent* paling besar efisiensinya dan *divergent* paling kecil menghasilkan efisiensi .
3. Dengan penambahan PBCF akan menambahkan efisiensi pada propeller sesuai ketentuan ITTC.

1.6 Batasan Masalah

Untuk mengefektifkan proses penelitian, maka diterapkan beberapa batasan-batasan masalah, yaitu sebagai berikut:

1. Variasi kemiringan pada tipe konvergen dan divergen $0^{\circ} - 15^{\circ}$
2. Tidak ada perubahan/variasi pada geometri *fins*
3. Bentuk *fins* mengikuti sudut kemiringan dari *hub*
4. Tidak ada perubahan/variasi pada geometri daun baling – baling
5. Hanya melakukan pengujian CFD
6. Tidak melaksanakan uji towing tank

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Kajian Pustaka

Propeller Boss Cap Fins (PBCF) telah digunakan sejak tahun 1988 sebagai salah satu penemuan ESDs pada transportasi laut. Menurut ITTC penambahan PBCF seharusnya menambahkan efisiensi dari baling – baling kapal. Adapun fungsi yang lain dari PBCF yaitu menghilangkan fenomena *vortex* pada bagian *hub* dari baling – baling. Hal ini pun dibuktikan oleh Hansen dkk (2011), Dang dkk (2011), Cheng dan Hao- Peng (2014) dan Kawamura dkk (2013) dalam beberapa penelitian baik secara studi lapangan, uji coba lab, ataupun simulasi CFD bahwa PBCF dapat menghilangkan *vortex* dan menambahkan efisiensi dari baling – baling kapal. Namun menurut Seo dkk (2016) kita perlu memperhatikan dalam *input load* saat simulasi dikarenakan akan sangat mempengaruhi hasil dari efisiensi baling – baling tersebut.

Dalam beberapa decade terdahulu dilakukan penelitian – penelitian pada geometri PBCF untuk menemukan komponen mana pada PBCF yang sangat sensitif terhadap efisiensi dan *vortex* baling – baling. Seperti Ghasemi dkk (2012), Mizzi dkk (2017), dan Drunckenbrod dkk (2015) menemukan bahwa variasi dari perubahan posisi *fins* pada PBCF sangat berpengaruh pada hasil efisiensi baling – baling dan ditambah lagi konfigurasi *hub* diindikasikan mempengaruhi *vortex* pada daerah tersebut. Hal inilah yang akhirnya menjadikan indikasi bahwa bentuk dari geometri *hub* berpengaruh pada bentuk dan besaran *vortex* pada daerah itu sendiri seperti yang dikatakan oleh Katayama dkk (2015) dalam penelitiannya. Geometri *hub propeller* sendiri terbagi menjadi tiga dan masing – masing memiliki karakter *vortex* yang berbeda, seperti yang dikatakan oleh Alter (1999) bahwa bentuk *cone* atau *hub cap* dapat berpengaruh pada performa dari baling - baling. Katayama dkk (2015) melakukan research penambahan PBCF yang telah diperbarui menggunakan tipe konvergen *hub* dan didapatkan efisiensi yang baik. Namun hal ini tidak berlaku pada penelitian pada tipe divergen *hub* yang telah diteliti oleh Lim dkk (2014) didapatkan penurunan efisiensi. Hal inilah yang menjadi dasar ide dari penelitian ini.

Dalam penelitian ini akan dilakukan percobaan dengan memvariasikan sudut kemiringan *hub cap* baling - baling pada tipe konvergen dan divergen lalu dilakukan penambahan *fins* guna mendapatkan sudut kemiringan dari *hub* yang optimal dari masing – masing tipe baik konvensional cap maupun PBCF. Hal ini akan disimulasikan menggunakan metode CFD guna mendapatkan visualisasi *vortex* dan fenomena – fenomena yang terjadi pada propeller.

root, *lifting line*, dan *lifting surface* yang diinputkan pada CFD tool. Dari sistem integrasi ini didapatkan simulasi CFD dari baling – baling dengan penambahan PBCF dengan efisiensi tinggi.

Untuk kelima tinjauan pustaka yang lain sebagai penguat mengenai PBCF adalah salah satu ESDs pada kapal yang bertujuan meningkatkan efisiensi kapal, dan masih perlu dikembangkan. Pada studi ini kelima tinjauan pustaka ini sebagai penguat bahwa PBCF merupakan salah satu ESDs yang dapat menambahkan efisiensi pada baling – baling kapal.

2.2. Propeller Boss Cap Fins

PBCF telah diusulkan menjadi sebuah ide untuk ESDs pada tahun 1987. PBCF merupakan kumpulan beberapa fins yang menempel pada *boss cap/hub cone* baling – baling. PBCF adalah inovasi dalam ESDs pada propulsi dengan penambahan sirip pada baling-baling kepala bos. PBCF berfungsi untuk memperbaiki aliran baling-baling dengan menghilangkan pusaran hub sehingga baling-baling mendapatkan efisiensi. PBCF adalah ESDs propulsi yang mengubah hub normal menjadi hub dengan *fins* yang jumlah *fins* sama dengan jumlah bilah baling-baling (Hsin dkk, 2008). Dengan menghapus hub vortex, PBCF dapat mengurangi biaya konsumsi bahan bakar sekitar 3 - 7% (Hochkirch dkk, 2010). Dengan menginstal PBCF, terjadinya *hub vortex* karena slipstream dapat dihilangkan dan meningkatkan efisiensi sebesar 2% (Dang dkk, 2011).

Penggunaan PBCF disebabkan adanya permasalahan *hub vortex* yang dapat menurunkan efisiensi dari baling – baling yang dilanjutkan dengan dibutuhkan besarnya tenaga yang dihasilkan oleh mesin utama untuk menggerakkan baling – baling sehingga dapat menambah penggunaan bahan bakar. Fenomena *hub vortex* ini terjadi dikarenakan oleh aliran air yang dipercepat dan berputar melalui area dari piringan baling – baling. Sebagai hasil dari pengaruh tersebut, khususnya

aliran sisa dari *root blade edge* mempercepat jadinya aliran *vortex* disekitar *boss* baling – baling. Aliran *vortex* dari setiap daun baling – baling yang dijumlahkan dan menjadi terpusat, menghasilkan aliran *vortex* yang sangat kuat pada ujung *boss*.

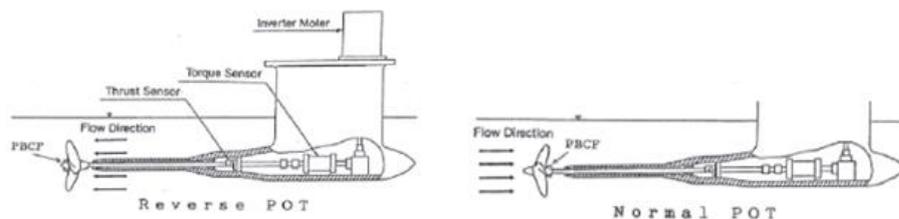
Kuatnya aliran sisa dari tiap ujung daun baling – baling dipecah oleh aliran yang dihasilkan oleh *fins* dari PBCF. Sehingga gaya yang dihasilkan dari PBCF tersebut dapat mereduksi torsi dari poros baling – baling, dan meningkatkan thrust 1%. (Nojiri dkk, 2011). Berikut ilustrasi pemasangan PBCF dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 *Propeller Boss Cap Fins* (Nojiri dkk, 2011)

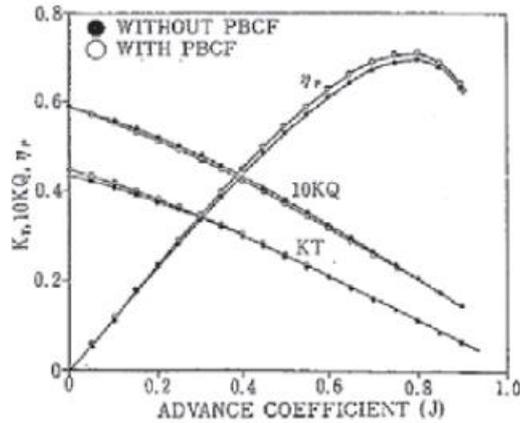
2.3. Penelitian dan Pengembangan *Propeller Boss Cap Fins*

PBCF menjadi sebuah terobosan dari penelitian dan pengembangan oleh (Ouchi dkk, 1988) melalui percobaan *Reverse Propeller Open Test* (Rev. POT) telah menjadi sebuah sarana pemanfaatan dan pengembangan lebih lanjut mengenai baling – baling bawah air, hal inilah yang menjadi awal metodologi penelitian dan pengembangan PBCF (Nojiri dkk, 2011). Berikut ilustrasi RPOT yang digunakan oleh Nojiri dkk (2011) dalam penelitiannya, dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 *Arrangement Normal POT and Reverse POT* (Nojiri dkk, 2011)

Dan seperti yang telah dijelaskan diatas bahwa PBCF dapat meningkatkan *Thrust* dan menurunkan torsi dari poros baling – baling seperti yang tertera pada Gambar 2.3. Hal tersebut dapat dilihat dari hasil percobaan awal K. Oichi berikut menggunakan *Rev. POT* (Nojiri dkk, 2011).



Gambar 2. 3 Hasil Penelitian Efisiensi PBCF terhadap *Hub Propeller* biasa (Nojiri dkk, 2011)

Hal ini lah yang menjadi awal mula lahirnya penelitan lebih lanjut mengenai PBCF guna menghasilkan efisiensi baling – baling dan kapal lebih baik.

2.4. *Track Record Propeller Boss Cap Fins*

Sejak tahun 2011, PBCF telah diadopsi pada 1800 kapal diseluruh dunia. Dan berbagai macam jenis PBCF telah terpasang disetiap tipe kapal didunia seperti Tanker termasuk VLCC, Container, PCC, Ferry dan masih banyak lagi bahkan termasuk kapal dengan sistem propulsi CPP (Nojiri dkk, 2011).



Gambar 2. 4 *Track Record* (Nojiri dkk, 2011)

Dapat dilihat pada Gambar 2.4 pada kolom sebelah kiri menunjukkan *track record* dalam *horsepower* yang diinginkan 45% kurang lebih 10,000ps, 30% pada 10,000 ~ 20,000ps, 15% pada 20,000 ~ 40,000ps, dan 10% pada 40,000ps.

Sedangkan rata – rata penggunaan PBCF digunakan paling banyak pada kapal ferry, container, dan bulk dengan persentase mencapai 20% dari keseluruhan berbagai macam kapal yang menggunakannya. Dan paling rendah digunakan pada kapal *gas. Chemical* dengan persentasi 8%.

Sehingga dapat disimpulkan penggunaan PBCF digunakan pada kapal – kapal yang membutuhkan kinerja baling – baling lebih. Sehingga dibutuhkan torsi besar yang dihasilkan oleh mesin utama (Nojiri dkk, 2011).

2.5. Performa Pada Kapal Sebenarnya

Performa PBCF pada kapal sesungguhnya telah dianalisa dan dievaluasi melalui data *trial* dan juga dari data harian pelayaran kapal tersebut. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 2.1 :

Tabel 2. 1 Hasil Analisa dari PBCF penyimpanan bahan bakar pada kapal aktual selama beberapa tahun terakhir.

Vessel Type	LPP (m)	MCO (ps)	$\Delta \eta s$	Comparason
CNT(5500Teus)	263	74,700	4,20%	Sister ship
CNT(4250Teus)	256.5	49,680	3,00%	Sister ship
			4,20%	
CNT(4250Teus)	240	49,720	3,80%	Sister ship
CNT(3800Teus)	264.2	46,800	7,50%	Self
91BC	228	15,000	1,80%	Sister ship
			5,80%	
88BC	221.3	16,640	5,30%	Sister ship
56BC	280.6	20,200	4,10%	Self
152BC	261.8	15,680	4,90%	Self
VLCC	332.95	34,640	5,60%	Self
Chemical	138	7,200	6,70%	Self
Product	219	16,640	12,00%	Sister ship
Chemical	141.2	9,626	4,00%	Sister ship
			2,00%	
LNG	259.0	23,303	3,90%	Self
Multi Purpose	129.9	7,200	2,00%	Self
General Cargo	72.8	2,400	3,20%	Self
Cement Carrier	61	1,000	4,30%	Self

Sumber : Nojiri dkk, 2011

$\Delta \eta s$ adalah hasil analisa penyimpanan bahan bakar dalam persen. Kapal yang termasuk pada tabel adalah dari *inter-coastal* bagian ukuran kecil hingga

ukuran besar *container carrier* dan VLCC. Dan output *Main Engine* juga tersebar dengan rentang antara 1000 hingga 76,000ps.

Dapat kita lihat peningkatan efisiensi dari 2% hingga 10% dari tabel diatas sehingga dapat disimpulkan sebagian besar percobaan PBCF memang terbukti telah meningkatkan efisiensi dan performa dari kapal – kapal diseluruh dunia. Dari data *sketting* didapatkan rata peningkatan sekitar 5 % dari rata – rata nilai peningkatan. Dari *sketting* tersebut didapatkan dari pengumpulan data dan analisa berat melalui data – data pelayaran dari setiap kapal. Pada pelayaran secara aktual, penggunaan bahan bakar sangat dipengaruhi dari banyak faktor seperti kecepatan, draft, trim, kondisi laut berupa gelombang dan angin juga masih banyak lagi.

2.6. Simulasi Numerik Fluida Disekitar PBCF

Ouichi menyampaikan efek dari PBCF sebagai berikut :

1. Gaya dorong baling – baling bertambah berdasarkan tingginya tekanan distribusi pada *boss* baling – baling disebabkan pecahnya aliran *vortex* disekitar *hub* dan tingginya tekanan dipermukaan dari permukaan baling – baling karena disebabkan efek dari fenomena *fins* pada PBCF.
2. Total torsi pada baling – baling menurun dikarenakan gaya yang dihasilkan dari reaksi *fins* sebagai inverse torsi oleh pembenahan aliran sisa dari ujung daun baling – baling.

Sebagai lanjutan studi dari fenomena tersebut, sangatlah penting apabila dilakukan sebuah analisa dan investigasi terhadap karakter aliran *vortex* disekitar daun propeller. Sehingga dilakukanlah penyimulasian melalui metode analisis CFD pada aliran disekitar baling – baling dan PBCF, sebagai bentuk penjelasan kualitatif dari efek dan fluid mekanis. Menggunakan metode *finite volume method* untuk menganalisa untuk menyelesaikan menggunakan persamaan *Navier-Stokes* secara langsung.

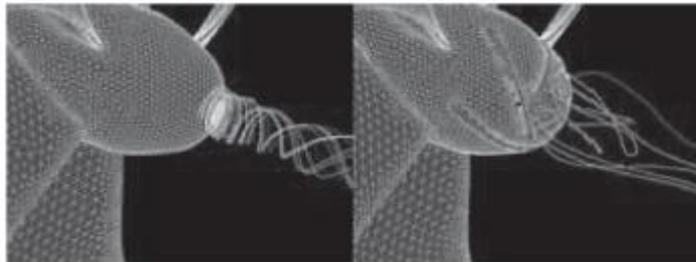
Menggunakan turbulen model dengan *Reynolds Number* rendah sebagai salah satu model turbulen yang diambil dalam simulasi ini. Model simulasi ini digunakan sebagai perhitungan guna memprediksi performa sebuah benda *foil* dengan aliran tersebar.

Didapatkan sebuah simulasi sebagai bahan studi lanjutan sebagai berikut :

1. *Hub Vortex*

Dalam kasus baling – baling konvensional tanpa PBCF maka akan dihasilkan *vortex* sama dengan arah rotasi dari baling – baling yang dihasilkan dari berbagai sudut sisi daun baling – baling dan terkumpul pada bagian ujung *boss* baling – baling.

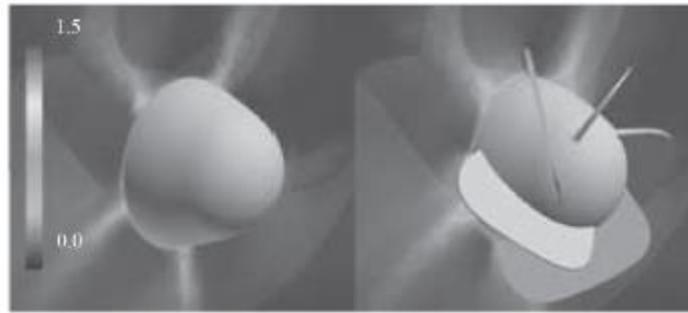
Berbeda dengan kasus baling – baling menggunakan PBCF. Aliran *vortex* yang dihasilkan oleh setiap sisi ujung – ujung daun baling – baling yang mengalir ke arah ujung *boss* baling – baling dipecah oleh *fins* sehingga tidak terjadi *vortex* lanjutan. Dengan menghilangnya fenomena hub vortex ini maka dapat mereduksi terjadinya kebisingan, getaran, erosi pada kemudi dan penurunan efisiensi baling – baling (Cheng dan Hao- Peng, 2014) Berikut contoh kedua kasus mengenai simulasi *hub vortex* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Simulasi *Vortex* (Nojiri dkk, 2011)

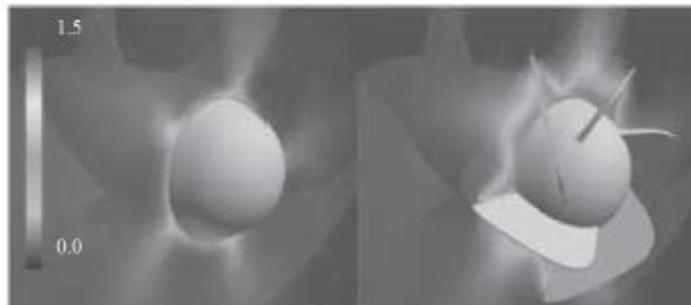
2. Distribusi Kecepatan

Pada bagian pertama ini menjelaskan mengenai distribusi kecepatan yang terjadi pada leading edge setelah dan sebelum ditambahkan PBCF pada baling – baling. Muncul fenomena dimana aliran kecepatan pelan – pelan muncul disekitar perpotongan antara *leading edge* dan fins lalu terbelah menuju tepat dibelakang fins. Sedangkan pada baling – baling tanpa PBCF aliran terbentuk dibagian setelah *trailing edge* dari daun baling – baling. Pada kasus ini PBCF membendung aliran yang dihasilkan oleh bagian daun baling – baling. Gambar simulasi dapat dilihat pada Gambar. 2.6



Gambar 2. 6 Distribusi Kecepatan Pada Daerah Belakang (Nojiri dkk, 2011)

Pada bagian kedua menjelaskan mengenai distribusi kecepatan pada bagian tepat dibelakang fins Gambar 2.7 dimana terlihat perbedaan aliran yang terdistribusi ketika baling – baling tanpa PBCF dan dengan PBCF dilalui aliran tepat pada pertengahan *hub boss*. Terlihat secara visual bahwa baling – baling tanpa PBCF aliran akan berputar mengikuti bentuk *hub boss* berbeda dengan baling – baling dengan PBCF aliran akan diteruskan dan diputar keluar menjauhi *hub boss* baling - baling. Gambar simulasi dapat dilihat pada Gambar. 2.7



Gambar 2. 7 Distribusi Kecepatan Pada Daerah Tengah (Nojiri dkk, 2011)

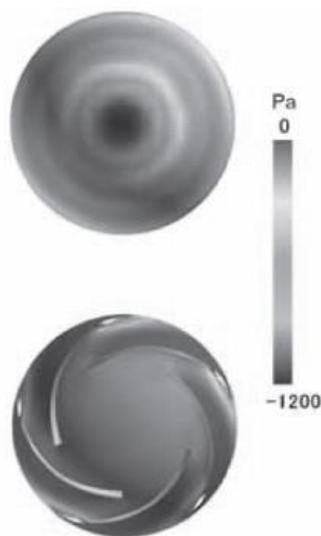
Pada bagian ketiga menjelaskan mengenai distribusi kecepatan pada bagian tepat diujung *hub* Gambar 2.8 dimana terlihat perbedaan aliran yang terdistribusi ketika baling – baling tanpa PBCF dan dengan PBCF dilalui aliran tepat pada pertengahan *hub*. Terlihat secara visual bahwa baling – baling tanpa PBCF aliran akan mengerucuk terpusat pada ujung *hub* baling - baling berbeda dengan baling – baling dengan PBCF aliran akan memutar menjauh dari poros ujung *hub* baling-baling sehingga aliran akan diteruskan ketengah aliran pusat baling - baling. Gambar simulasi dapat dilihat pada Gambar. 2.8



Gambar 2. 8 Distribusi Kecepatan Pada Daerah Ujung *Hub Propeller* (Nojiri dkk, 2011)

3. Distribusi Tekanan

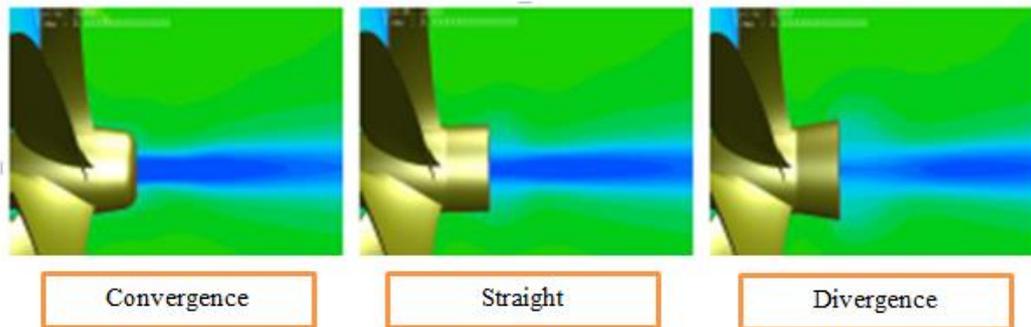
Dengan dijelakannya mengenai distribusi aliran maka kita dapat mengetahui mengenai distribusi tekanan pada boss cap baling – baling itu sendiri. Ketika baling – baling tidak menggunakan PBCF maka aliran akan terpusat keporos tengah dari boss cap itu sendiri sehingga tekanan terkonsentrasi pada daerah tersebut. Sedangkan dengan pemasangan PBCF aliran yang semula terfokus pada poros tengah akan terdistribusi rata pada setiap *fins* sehingga tidak terjadi konsentrasi tekanan yang dapat menyebabkan *vortex* maupun *bubble cavitation*. Gambar simulasi distribusi tekanan pada *boss cap* baling – baling dapat dilihat pada Gambar. 2.9



Gambar 2. 9 Distribusi Tekanan pada *Boss Cap* (Nojiri dkk, 2011)

2.7. Geometri Hub Baling – Baling

Bentuk dari hub poros baling – baling terbagi menjadi tiga yaitu : konvergen, *straight*, dan divergen tipe. Dimana setiap bentuk geometri hub baling – baling tersebut memiliki bentuk aliran berbeda. Berikut penjelasan berupa visualisasi bentuk hub poros dan aliran yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 2.10.

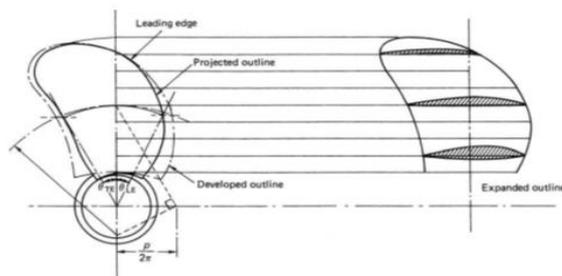


Gambar 2.10 Geometri Hub Baling – Baling (Katayama dkk,2015)

Menurut (Katayama dkk, 2015) Dapat dilihat pada ketiga gambar diatas, warna biru merupakan bentuk aliran *vortex* yang dihasilkan oleh hub baling - baling tersebut. Bentuk *convergent* memiliki warna biru yang lebih tebal tepat didepan *hub cap* yang mengindikasikan besarnya *vortex* yang terjadi. Sedangkan semakin bentuk *hub cap* mendekati tipe *divergent* aliran *vortex* yang dihasilkan semakin menipis.

2.8. Geometri Baling – Baling

Permukaan daun baling-baling yang menghadap ke belakang disebut sisi muka, atau paras, (*face*) atau sisi tekanan tinggi, sedangkan sisi sebaliknya disebut punggung atau sisi belakang, (*back*) atau sisi tekanan rendah. Berikut gambar geometri baling – baling dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Sketsa definisi baling-baling

Bentuk sisi tekanan tinggi yang paling sederhana adalah permukaan berbentuk spiral (*helicoidal surface*). Permukaan ini dapat didefinisikan sebagai permukaan yang dibentuk oleh sebuah garis lurus, disebut generatriks atau garis generator (*generatrix*, atau *generator line*) yang berkisar mengelilingi suatu sumbu yang melalui salah satu ujungnya dan sekaligus bergerak ke sepanjang sumbu tersebut. Jarak aksial yang ditempuh dalam tiap kisaran disebut langkah atau jarak ulir P (*pitch*). Jika langkah ulir tersebut tetap maka berarti bahwa P untuk semua jari-jari dalam baling-baling demikian itu sama.

2.9. Karakteristik Baling-baling Kapal

Secara umum karakteristik dari baling-baling kapal pada kondisi open water test adalah seperti yang direpresentasikan pada diagram $K_T - K_Q - J$. Setiap tipe dari masing-masing baling-baling kapal, memiliki karakteristik kurva kinerja yang berbeda-beda. Sehingga kajian terhadap karakteristik baling-baling kapal tidak dapat di-generalised untuk keseluruhan bentuk atau tipe dari baling-baling (Gaafary, 2009). Model persamaan untuk karakteristik kinerja baling-baling kapal ditunjukkan pada persamaan 2.1, 2.2, 2.3, dan 2.4.

$$(K_T) = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad (2.1)$$

$$(K_Q) = \frac{Q}{\rho n^2 D^4} \quad (2.2)$$

$$(J) = \frac{Va}{nD} \quad (2.3)$$

$$\eta_0 = \frac{TVa}{2\pi nQ} \quad (2.4)$$

Dimana:

K_T = Koefisien gaya dorong baling-baling

K_Q = Koefisien torsi baling-baling

J = Koefisien *advanced* baling-baling

Va = kecepatan *advanced* (m/s)

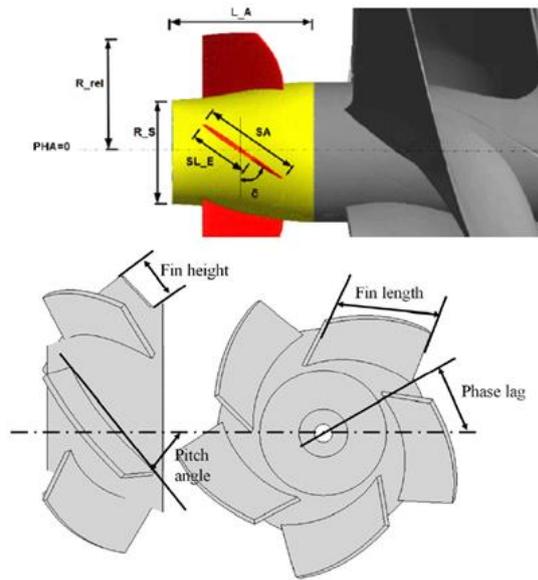
- D = diameter *propeller* (m)
- n = putaran *propeller* (rps)
- T = *thrust propeller* (Newton)
- Q = *torque propeller* (N/m)
- ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)
- η_0 = efisiensi baling – baling

2.10. Macam Variasi Pada PBCF

Banyak masalah muncul dalam sistem propulsi kapal dapat mempengaruhi kinerja baling-baling dan menghasilkan konsumsi bahan bakar. Beberapa masalah dalam propulsi adalah kavitasi dan *vorteks*. *Hub vortex* menyebabkan penurunan dorong sebesar 3% hingga 5%, dorong pada hub menurun 2% dan torsi berkurang 2% hingga 3% (Ouichi dan Tamashima, 1989). Beberapa masalah seperti erosi telah ditemukan pada kemudi kapal dan itu disebabkan oleh gelembung vortex yang terjadi karena *slipstream* (Terwisga dkk, 2009).

PBFC menawarkan peningkatan efisiensi, terutama dalam aliran baling-baling. Efisiensi dibuat dengan menghilangkan *hub vortex*, meningkatkan dorong, dan menurunkan torsi (Ouichi dan Tamashima, 1989). Dengan menghilangkan *hub vortex*, erosi kemudi dan beban kerja baling-baling dapat diatasi dengan pemasangan PBCF.

Karena masalah propulsi mulai mengembangkan ESDs untuk mengoptimalkan aliran baling-baling dan efisiensi kinerja baling-baling. PBCF adalah salah satu solusi masalah aliran pada baling-baling. Sejak tahun 1988, studi pengembangan PBCF telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi yang dihasilkan oleh PBCF. PBCF memiliki beberapa parameter yang dapat divariasikan seperti posisi aksial fins pada PBCF, sudut pitch dari fins, diameter hub, dan beberapa tentunya masih banyak yang lain. Pada Gambar. 2.12 dapat dilihat beberapa bagian dari PBCF yang dapat divariasikan.



Gambar 2.12. Parameter Variasi Pada PBCF

Sedangkan untuk daftar pengembangan parameter PBCF yang telah dipelajari lebih lanjut oleh banyak ilmuwan, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Penelitian dan Parameter Variasi PBCF

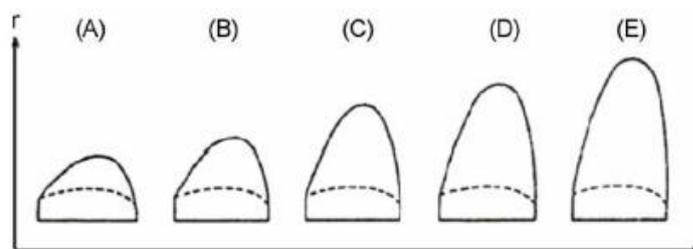
Author	PBCF Variation Parameter											Efficiency
	Reynold Number	Radius Fin	Axial Position	Pitch Angle	Hub Diameter	Phase Lag	Fin Chord Lenght	Shape Fin	Optimization Fin Parameter	Load Distribution	Shape and Angle of Hub	
Lim, 2014 [1]		v		v		v	v	v			v	decrease
Katayama, 2015 [8]						v						increase
Hsin, 2009 [14]		v	v	v								increase
Seo, 2016 [17]		v		v		v	v					increase
Druckenbrod, 2015 [18]									v			increase
Hansen, 2011 [20]	v											increase
Ghasemmi, 2012 [21]		v	v		v							increase
Kawamura, 2013 [22]	v											increase
Mizzi, 2017 [23]									v			increase
Park, 2016 [24]				v		v	v					increase
Cheng, 2014 [25]										v		increase

Seperti yang telah terpapar pada Tabel 2.2 beberapa variasi yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu dan mendapatkan hasil yang positif. Pada daerah *fin*s didapatkan berbagai macam variasi yang dapat diubah dan mendapatkan penambahan efisiensi. Pengaturan *phase lag* yaitu penempatan posisi dari *fin*s

terhadap posisi dari baling – baling. Menurut Seo dkk (2016), dan Lim dkk (2014) dengan mengatur *phase lag* aliran yang akan diteruskan setelah melalui celah baling – baling utama akan diarahkan dan ditahan sehingga dapat diputar oleh *fins*. Dengan pengaturan *phase lag* aliran yang berpotensi menjadi *hub vortex* akan dibelokkan terlebih dulu oleh posisi dari *fins*. Menurut Seo dkk (2016), Katayama dkk (2015), Lim dkk (2014), dan Park dkk (2016) posisi paling optimum berada diantara celah baling – baling, sedangkan posisi paling minimum menghasilkan efisiensi yaitu tepat berada didepan baling – baling utama.

Pengaturan *Pitch Angle Fins* yaitu pengaturan sudut kemiringan dari *fins* sehingga dapat mengatur arah aliran yang mengalir menuju hub baling – baling. Menurut Lim dkk (2014) merupakan salah satu parameter yang sangat berpengaruh menambah efisiensi baling – baling. Semakin sudut *pitch fins* berada pada kisaran 45° maka aliran akan mudah tersapu oleh *fins*. Sedangkan kisaran sudut 0 dan 90 derajat perlu dihindari dalam desain PBCF dikarenakan apabila dipasang pada kisaran 0 derajat maka aliran akan bergerak bebas melalui *fins* sedangkan pada 90 derajat aliran akan tertahan menutup jalur aliran. Namun penempatan *pitch angle fins* menurut Hsin dkk (2009), dan Seo dkk (2016) disesuaikan dengan panjang dari geometri dari hub baling – baling.

Sedangkan *radius fins*, *shape fins*, *Fins Chord Length* dan *length of fins* dapat dilihat Gambar 2.12 saling berkesinambungan, apabila radius dari *fins* diatur maka panjang dan tingginya pun akan mengikuti. Radius fins pun mengikuti bentuk dari berbagai macam jenis fins yang digunakan berikut contoh dari fins oleh Oichi dkk, (1988) pada gambar 2.13.



Gambar 2.13. Jenis *Fins* Pada PBCF (Ouchi dkk, 1988)

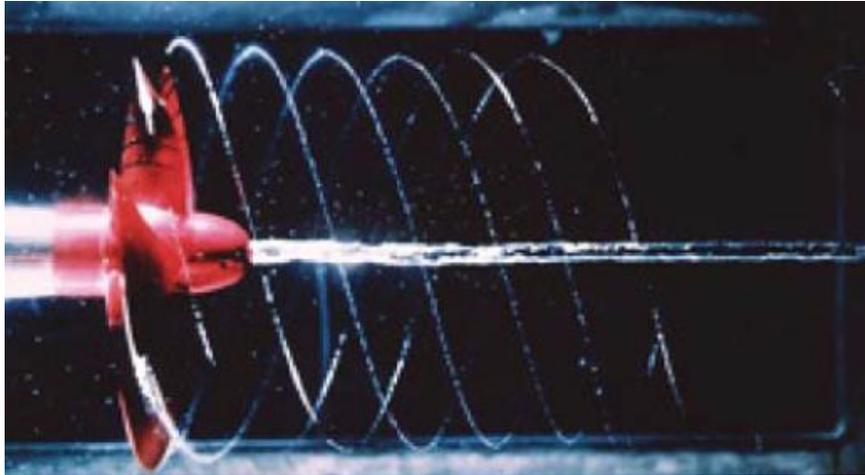
Axial Position dapat diartikan adalah posisi dari fins dimana melawan arah putaran jarum jam maupun mengikuti arah putaran jarum jam. Ghasemmi dkk (2012) hal ini dapat mempengaruhi arah putar yang terjadi pada *fins* cukup kecil dalam menimbulkan efisiensi karena PBCF mengikuti arah putar dari baling – baling utama.

Sedangkan variasi pada bentuk *hub cap* atau *cone* oleh Lim dkk (2014) dan Katayama dkk (2015) ternyata mempengaruhi efisiensi dikarenakan tiap *cone* mempengaruhi karakteristik aliran yang dihasilkan. Dan menurut Alter (1999) pun mengatakan dalam konferensi ITTC bahwa bentuk *cone* sangat berpengaruh pada aliran yang dihasilkan disekitar *hub cap*.

2.11. Kavitasasi dan Vortex pada Baling – Baling

Ketika baling-baling berputar, ia menyerap torsi yang dikembangkan oleh mesin pada revolusi yang diberikan yaitu, tenaga yang dikirim dan selanjutnya dikonversikannya menjadi sebuah putaran pada baling – baling yang akhirnya memberikan sebuah dorongan pada kapal yang diteruskan oleh *thrust block* sehingga gaya tersebut disalurkan menuju keseluruhan struktur kapal.. Menurut hukum Bernoulli, bagian hidrofoil (bagian daun baling-baling) melalui air menyebabkan tekanan positif pada *face blade* dan tekanan negatif di punggungnya. Ini adalah resolusi dari tekanan yang menghasilkan kebutuhan torsi dan pengembangan gaya dorong dari baling-baling. Tekanan negatif menyebabkan setiap gas di dalam air berevolusi menjadi gelembung. Gelembung-gelembung ini runtuh dan dapat menyebabkan beban pada putaran baling - baling seperti beban benturan pada baling-baling yang sering melebihi 7 kg / cm^2 . Ini adalah pecahan gelembung-gelembung ini yang menghasilkan kerusakan yang diamati pada permukaan daun baling-baling dan hub baling - baling. Menurut Ouichi dkk (1988) *Hub Vortex* yaitu pusaran yang dihasilkan oleh putaran pada hub baling – baling yang mengandung gelembung – gelembung uap yang meletup dan dapat menyebabkan kebisingan pada baling – baling, bukan hanya kebisingan namun korosi dan tahanan pada daerah yang dilalui aliran vortex kavitasasi tersebut. Lebih detailnya dengan adanya gelembung *vortex* ini energi kinetik terserap

sehingga efisiensi menurun. Pada Gambar 2.14 merupakan fenomena terjadinya *hub vortex* dan *tip vortex* pada baling – baling kapal.



Gambar 2.14. *Hub Vortex* dan *Tip Vortex* (Ghasemmi dkk, 2008)

Menurut Seif dkk (2009) dalam penelitiannya mengenai kavitasasi terhadap drag yang terjadi pada foil didapatkan penurunan hingga 45 % akibat terjadinya gelembung kavitasasi yang terjadi. Adanya aliran kavitasasi ini sangatlah merugikan pada laju kapal maupun daerah propulsi pada kapal. Pada penelitiannya Felli dan Falchi (2011) adanya *hub vortex* menyebabkan kerusakan yang fatal pada daerah kemudi kapal. Daerah kemudi kapal tergerus oleh aliran *vortex* yang terus menerus dihasilkan oleh baling – baling. Tidak hanya pada struktur kemudi kapal namun daerah hub pada baling – baling pun tergerus akibat gelembung kavitasasi yang memiliki suhu tinggi akibat penurunan tekanan yang terjadi disekitar daerah hub geometri.

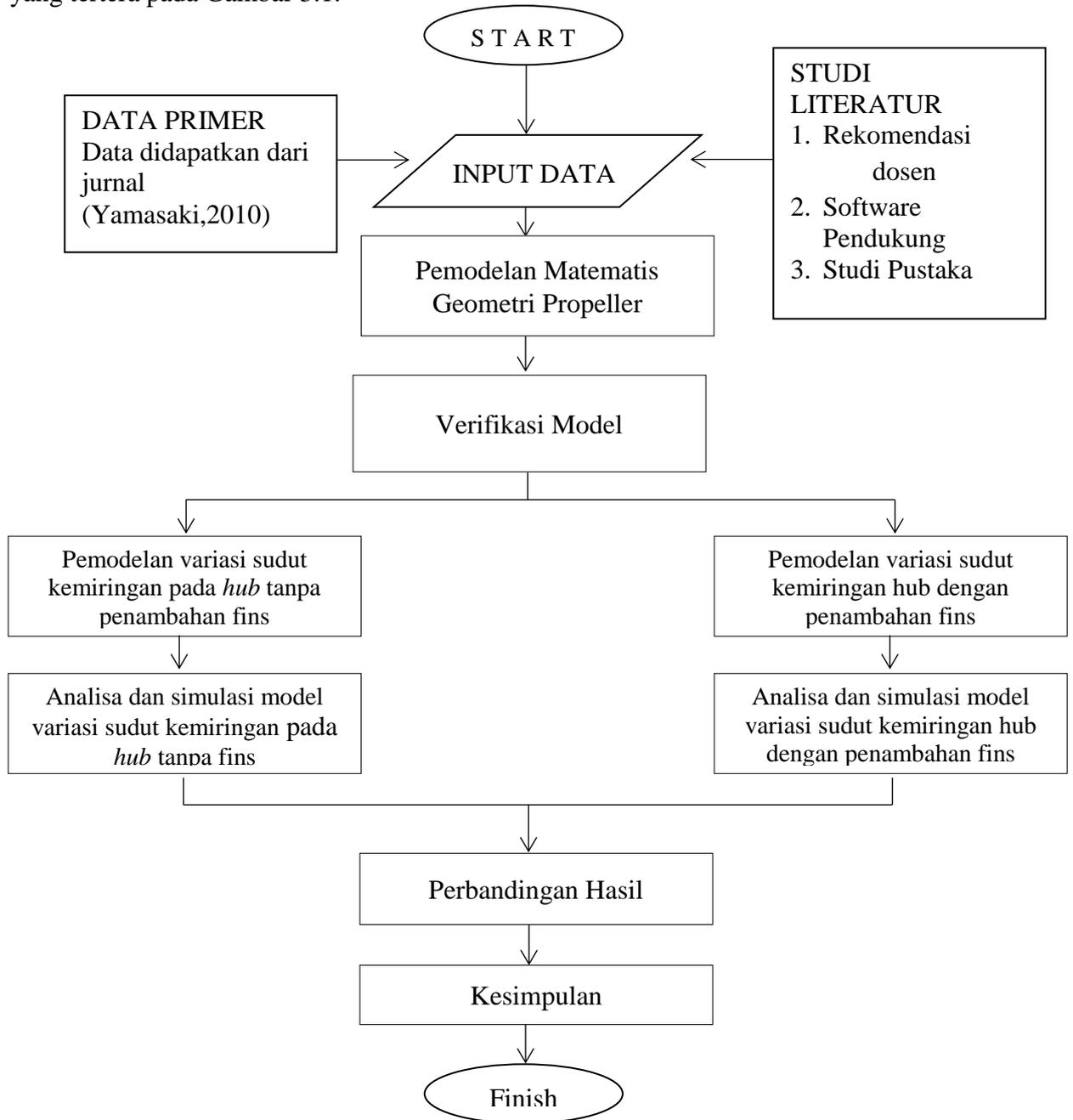
Aliran kavitasasi sangat berpengaruh pada nilai *lift dan drag* yang terjadi disekitar kapal maupun baling – baling. Pada penelitiannya Eduard dkk (2006) meneliti pengaruh kavitasasi pada *lift dan drag* foil yang diatur sudut kemiringannya. Selanjutnya didapatkan hasil kedua koefisien tersebut mengalami penurunan drastis akibat kavitasasi yang terjadi, semakin bertambahnya sudut kemiringan kavitasasi semakin membesar dan mengurangi kedua koefisien tersebut.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tahapan penelitian

Metodologi yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat dalam diagram yang tertera pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Flow Chat Penelitian

3.2. Studi Literatur

Dalam tahap ini, penulis mencari sumber informasi yang berkaitan dengan penelitian yang mendukung penelitian, seperti buku, *paper*, hasil penelitian, hasil seminar dan lain-lain.

3.3. Pengumpulan Data Awal

Pada tahap ini, penulis mengumpulkan data yang dibutuhkan untuk penelitian. Termasuk data-data komposisi tentang pengaruh perubahan konfigurasi sudut kemiringan pada *hub propeller* terhadap performa dari *propeller* tanpa *fins* maupun menggunakan *fins*, data hasil penelitian yang relevan dengan penelitian ini yang telah dilakukan sebelumnya. Dan juga pada tahap ini dilakukan pengumpulan data awal *propeller* yang akan disimulasikan untuk memakai *PBCF* pada *propeller*.

3.4. Pemodelan Matematis Baling - Baling

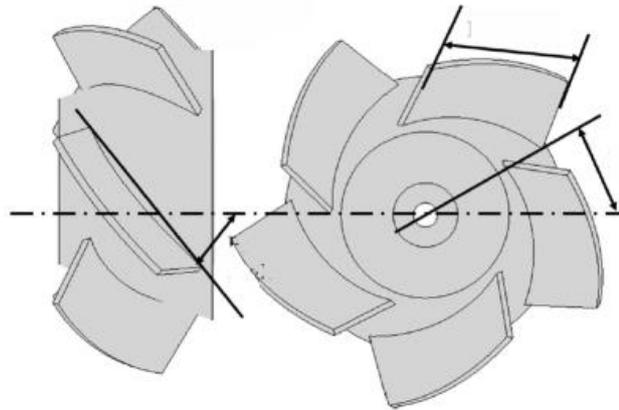
Setelah melakukan pengumpulan data awal, langkah selanjutnya adalah pemodelan baling – baling menjadi model matematis 3D menggunakan *software* CAD 3D. Data model 3D didapatkan dari paper (Prakash dan Nath, 2012) dan berikut data baling – baling tersebut pada Tabel. 3.1

Tabel 3. 1 Parameter Propeller

Parameter	Ukuran
Diameter	2 meter
Pitch	1.6 meter
Ae/Ao	0.55
Blade Number	4
RPM	257
Va	9.48 knot

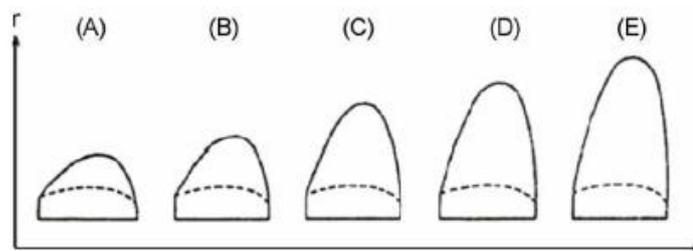
Sumber : Prakash dan Nath, 2012

Dari ukuran utama diatas, maka akan dilakukan pemodelan dalam bentuk matematis. Sehingga dapat dilakukan simulasi secara computational. Dan berikut bentuk desain *PBCF* yang akan digunakan pada studi kali ini didapatkan dari paper (Seo dkk,2016) dapat dilihat pada Gambar 3.2



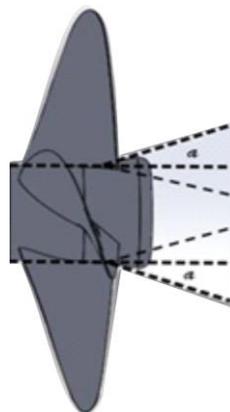
Gambar 3. 2 Desain PBCF (Seo dkk,2016)

Sedangkan bentuk foil yang digunakan menurut Ouichi dkk (1988) yaitu adalah fins (A) disesuaikan dengan paper tersebut. Berikut macam konfigurasi *fins* yang dapat digunakan pada PBCF pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Konfigurasi *Fins* (Ouichi dkk,1988)

Untuk bentuk variasi *hub cap* yang dilakukan dijelaskan pada Gambar 3.4. Variasi dilakukan pada dua jenis *hub cap* yaitu konvergen dan divergen. Nilai α menunjukkan sudut kemiringan dari *hub cap*, nantinya nilai α inilah yang akan dilakukan pemvariasian.



Gambar 3. 4 Variasi Sudut Kemiringan Hub

3.5. Validasi Model

Pada tahap dilakukan validasi terhadap model 3D yang telah dibuat dengan model sebenarnya dengan cara membandingkan efisiensi dari keduanya. Berikut nilai dari efisiensi baling – baling sesungguhnya yang menjadi dasar validasi model pada Tabel 3.2 :

Tabel 3. 2 Nilai Efisiensi Baling – Baling

	K_T	10K_Q	n
Prakash dan Nath, 2012	0.142	0.201	0.623

Nomor baling – baling yang digunakan yaitu nomer satu. Nantinya hasil akan dibandingkan dengan hasil CFD pemodelan dengan tujuan agar tidak terjadi *error* perhitungan yang terlalu jauh. Batas *error* yang diperkenankan yaitu maksimal pada persentase 10 %.

3.6. Computational Fluid Dynamic Method

teknik *CFD* merupakan bagian dari proses desain dalam diagram spiral perancangan. *Computational Fluid Dynamics* terdiri dari tiga elemen utama yaitu :

- a. Pre Processor
- b. Solver Manager
- c. Post Processor

3.7. Pre Processor

Pada tahap ini dilakukan perubahan model solid 3D menjadi elemen-elemen kecil sehingga dapat dilakukan proses analisa matematis. Pada tahap ini diambil beberapa ketentuan untuk mempermudah pengerjaan penelitian ini dan didapatkan hasil yang diinginkan.

Untuk meshing akan digunakan tipe unstructure mesh. Dengan bentuk element tetrahedron. Menggunakan uniform mesh sehingga mesh tersebar rata diseluruh bagian wall.

3.8. Solver Manager

Pada tahap ini dilakukan pendefinisian model aliran fluida yang digunakan, apakah meshing akan dibuat static atau dinamis, dan pengaturan akurasi perhitungan.

Merujuk pada penelitian – penelitian sebelumnya untuk model aliran fluida maka akan digunakan Standart k-e epsilon sebagai bentuk aliran pada wall baling – baling. Sedangkan jenis meshing akan dibuat dinamis mesh sehingga baling – baling akan disimulasikan berputar. Akurasi akan dipilih 3rd orde sehingga didapatkan akurasi paling baik dan tidak menghasilkan banyak error.

3.9. Post Processor

Merupakan tahap terakhir dari analisa pada tahap ini akan didapatkan simulasi dari percobaan ini secara CFD.

3.10. Plan Schedule Penelitian

Berikut adalah rencana rincian kegiatan yang akan dilakukan selama kurang lebih lima bulan ini.

Tabel 3.3 Waktu perencanaan penelitian

NO	TAHAP KEGIATAN	BULAN/ TAHUN 2018-2019																	
		Januari		Februari				Maret				April				Mei			
		MINGGU																	
		3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur	■	■																
2	Pengumpulan Data Awal	■	■																
3	3D Modelling			■	■														
4	Validasi Model					■	■												
5	Modeling dan Analisa Baling – baling tanpa PBCF							■	■	■									
6	Modeling dan Analisa Baling – baling dengan									■	■	■							

BAB IV

PEMBAHASAN

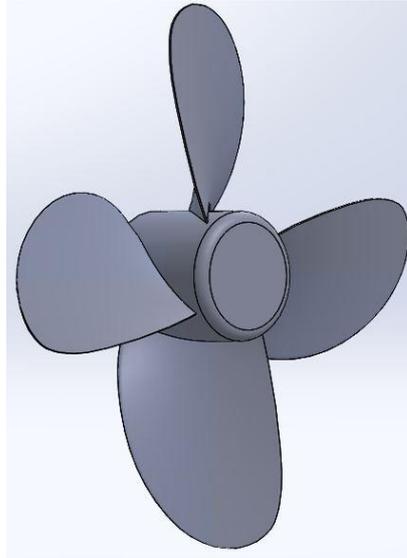
4.1 Pemodelan

Pada bab ini membahas mengenai tahap – tahap yang telah dilakukan dalam melakukan analisis mengenai pengaruh geometri *hub cap* terhadap efisiensi baling - baling setelah pemasangan PBCF. Pada tahap awal memodelkan terlebih dahulu data baling - baling yang telah didapatkan dari (Prakash dan Nath, 2012) yaitu dengan ukuran dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Paramater Utama Baling - Baling

Parameter	Ukuran
Diameter	2 meter
Pitch	1.6 meter
Ae/Ao	0.55
Blade Number	4
RPM	257
Va	9.48 knots

Setelah didapatkan ukuran utama baling - baling selanjutnya dilakukan pemodelan dengan menggunakan perangkat lunak CAD. Pemodelan dilakukan dengan mengubah tiap node yang telah didefinisikan oleh perangkat lunak pendefinisi titik pada baling - baling yang selanjutnya dijadikan menjadi bentuk baling – baling 3 dimensi. Gambar 4.1 adalah hasil pemodelan dari baling - baling.

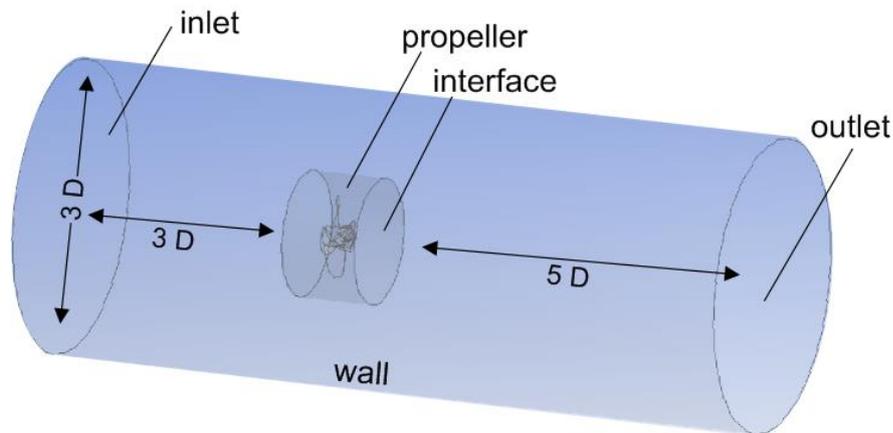


Gambar 4. 1 Model 3 Dimensi Baling - Baling

4.2 Proses Analisa CFD

4.2.1 Pemodelan Kondisi Batas CFD

Setelah dilakukan pemodelan 3 dimensi dari baling - baling, maka model akan dianalisa menggunakan perangkat lunak CFD. CFD sendiri merupakan metode dimana mengubah aliran fluida menjadi persamaan matematis (Wendt, 2009). Hal ini mempermudah dalam menyimulasikan bentuk – bentuk aliran fluida yang seharusnya dapat dilakukan melalui pengujian *towing tank* namun disederhanakan dalam bentuk persamaan matematis yang dikerjakan melalui komputer. Langkah selanjutnya yang perlu dilakukan membuat *boundary condition* untuk menentukan batas – batas dan mendefinisikan tiap bagian dari *boundary condition*. *Boundary Set – up* pada Gambar 4.2 telah disesuaikan dengan analisis CFD yang dilakukan oleh Chamanara dan Ghasemmi, (2016).



Gambar 4. 2 *Domain Boundary*

Boundary condition yang digunakan pada analisa kali ini sendiri terdiri dari *inlet*, *outlet*, *wall*, dan *interface*. *Inlet* merupakan *domain* guna menginput kecepatan aliran, diberikan jarak sepanjang 3 kali diameter baling – baling dan diberikan nilai input kecepatan *advance* sebesar 9,48 knots sesuai dengan data utama baling – baling yang telah didapat pada Tabel 4.1. Input kecepatan yaitu menggunakan kecepatan *advance* dikarenakan dianggap kecepatan telah terpotong oleh wake yang terjadi.

Outlet adalah *domain* dimana aliran nantinya berhenti, diberikan jarak sepanjang 5 kali diameter baling – baling dengan nilai input berupa tekanan. Nilai tekanan yang diberikan pada *outlet* sebesar 1 atmosphere.

Wall sendiri merupakan batasan aliran dapat mengalir dapat dimisalkan sebagai dinding pada *towing tank*, diberikan jarak besar diameter sepanjang 3 kali diameter baling – baling dari atas hingga bawah. *Wall* didefinisikan sebagai *freeslip* yaitu dimaksudkan agar tidak adanya gesekan pada aliran yang melalui *wall boundary*.

Interface yaitu daerah yang didefinisikan agar aliran yang berada pada *boundary* yang awalnya berupa *stationer* yaitu aliran yang bergerak lurus. Selanjutnya akan diubah ketika melalui *interface* yang berada pada sekitar baling – baling sehingga aliran berubah menjadi *rotational* dimana aliran diputar oleh baling - baling.

Baling – baling sendiri didefinisikan sebagai *wall no slip* yang berarti aliran akan digesek oleh baling – baling. Sehingga baling – baling dianggap benda solid yang berputar. Untuk *setting* secara keseluruhan *boundary condition* dapat dilihat pada Lampiran 1.

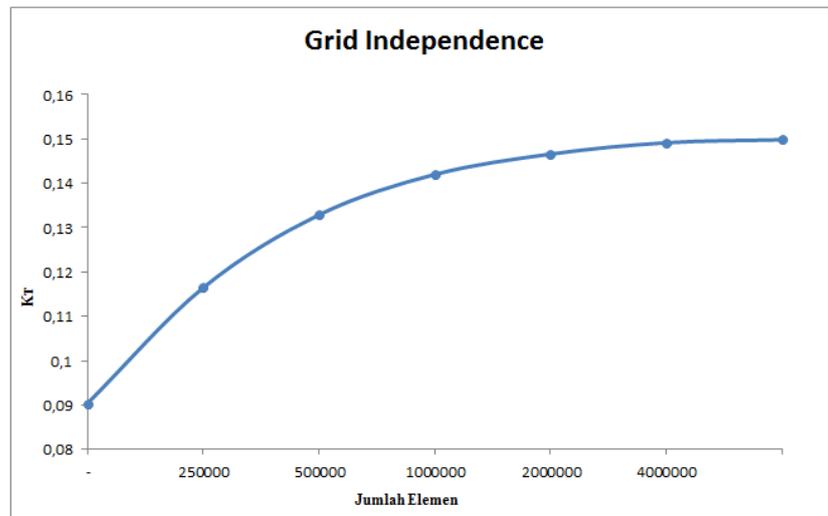
4.2.2 Pemodelan *Meshing* CFD

Pada tahap ini model dan *boundary* akan diubah menjadi elemen – elemen kecil yang mendefinisikan setiap karakteristik dari benda yang akan diuji. Ukuran elemen yang digunakan sangat mempengaruhi seberapa besar akurasi hasil dan bentuk aliran yang nantinya akan disimulasikan pada hasil akhir. Pada tahap ini akan dilakukan *penentuan grid independence*. *Grid independence* merupakan penambahan jumlah grid sehingga didapatkan nilai analisa yang konstan dan mendekati nilai yang sesungguhnya dari percobaan laboratorium. Cara dalam menentukan *grid independence* yaitu dengan mengkalikan jumlah elemen menjadi 2 kali lipat jumlah element tiap kali meshing hingga didapatkan hasil dimana nilai experiment tidak terjadi perubahan yang signifikan (Almohammadi dkk, 2013). Dan berikut hasil *grid independence* dari analisa kali ini dapat dilihat dari Tabel 4.2 dan Gambar 4.3.

Tabel 4. 2 Grid Independence

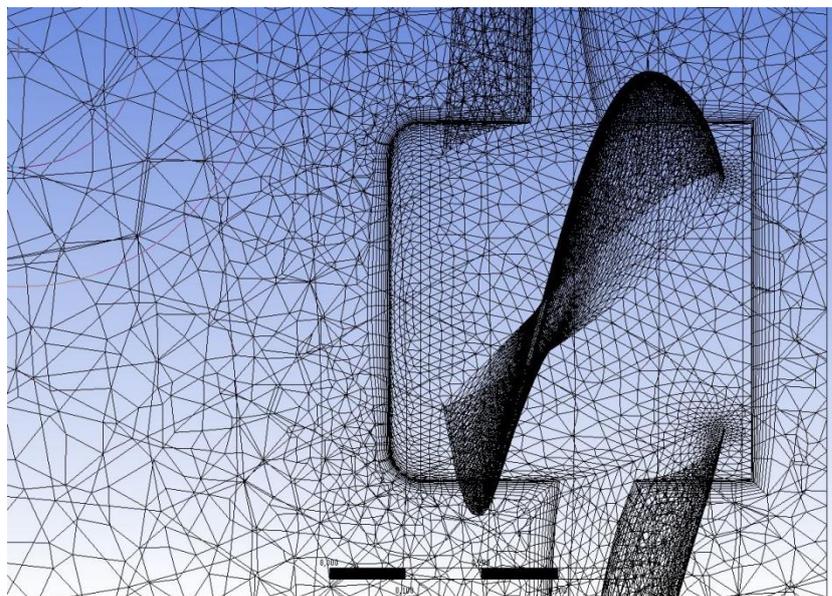
Element	250176	501085	1041759	2107532	4192311
K_T	0,116	0,132	0,143	0,146	0,149
Porsentase	-	8,4%	6,2%	1,8%	1,5%

Dari hasil *grid independence* didapatkan bentuk grafik pada Gambar 4.3 terlihat grafik sudah tidak mengalami kenaikan signifikan pada element 1 juta menuju ke 2 juta. Didapatkan selisih sebesar 1,8 % antara element 1 juta dan 2 juta.



Gambar 4. 3 Grafik *Grid Independence*.

Dari hasil grid independence pada 1 juta elemen didapatkan bentuk meshing seperti pada Gambar 4.4 dimana elemen sudah sangat rapat dengan ukuran elemen yang relatif kecil.



Gambar 4. 4 Meshing 1 Juta Elemen

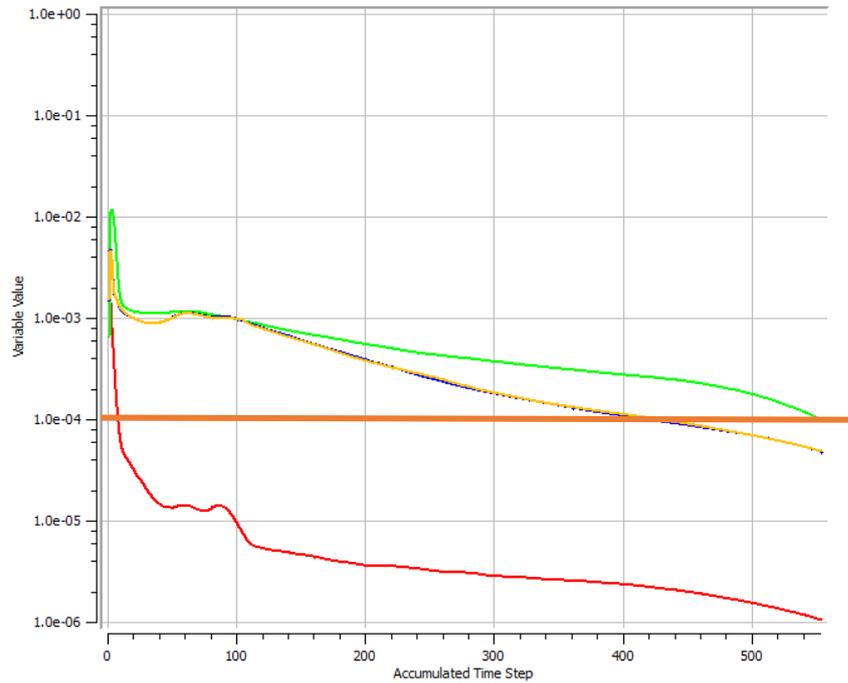
Semakin kecil elemen dari model yang digunakan, maka nilai yang didapatkan akan mendekati hasil sesungguhnya namun hal tersebut menyebabkan waktu analisa semakin lama dan membutuhkan spesifikasi perangkat keras yang semakin canggih untuk dapat melakukan perhitungan yang lebih akurat.

4.2.3 Pengaturan CFD

Setelah didapatkan model maka dilanjutkan dengan pengaturan semua fungsi dalam perhitungan *solver* perangkat lunak CFD. Beberapa hal yang diatur pada tahap pengaturan CFD yaitu bentuk analisa aliran, model turbulensi, orde akurasi. Analisa dilakukan menggunakan *steady stage* dimana aliran/ objek dianggap tidak berubah secara laju waktu. Sedangkan model turbulensi sangat berpengaruh pada bentuk aliran dan hasil yang diinginkan. Model turbulensi yang digunakan pada analisis CFD berupa *standard k – epsilon*. Orde akurasi dalam perhitungan menggunakan *second orde high resolution*. Untuk penjelasan lebih lanjut mengenai *setting* keseluruhan dapat dilihat pada Lampiran 1.

4.2.4 Iterasi CFD

Iterasi merupakan proses atau dapat disebut metode perhitungan yang dilakukan berulang – ulang dalam menyelesaikan permasalahan matematik dimana pada akhirnya didapatkan nilai yang paling akurasi dan tidak terjadi perubahan pada hasil yang telah kita hitung. Pada CFD sendiri metode ini digunakan untuk mendapatkan hasil yang paling akurat dari simulasi yang telah kita lakukan. Berikut hasil grafik iterasi dari analisis dimana diatur nilai akan konvergen pada 10^{-4} dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Iterasi CFD.

4.2.5 Hasil CFD

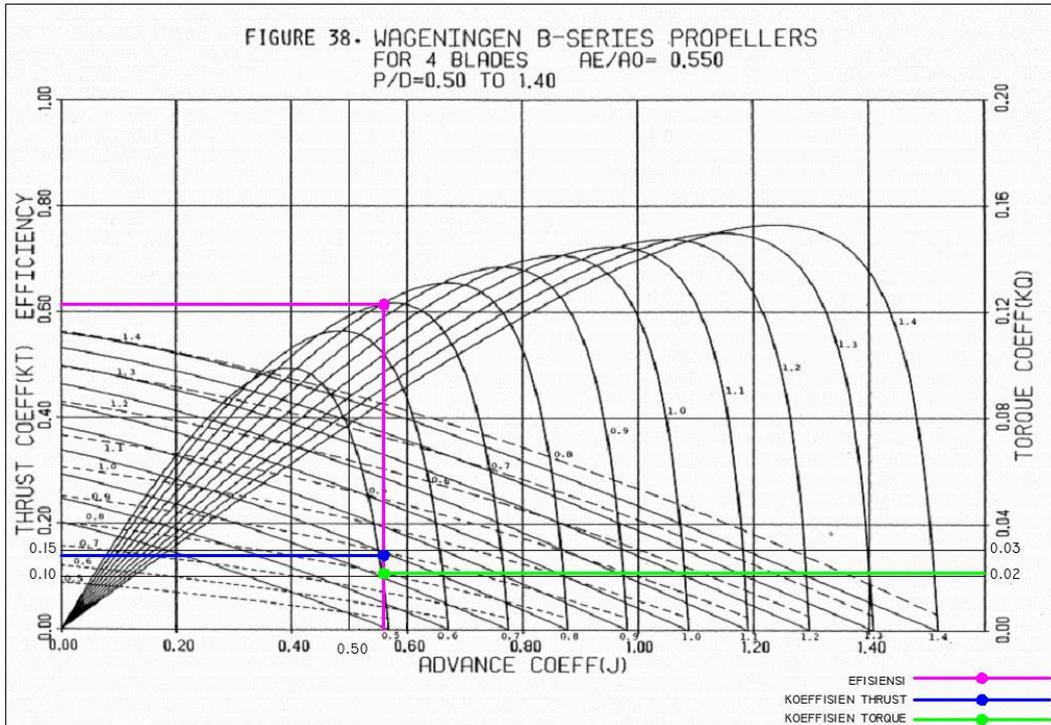
Didapatkan hasil analisis untuk model baling - baling tanpa melakukan pemvariasian pada *hub cap* dan dibandingkan dengan tabel analisa sebelumnya dari (Prakash dan Nath, 2012) seperti pada Tabel 4.3. Diambil hasil dari baling – baling dengan jumlah elemen sebanyak 1 juta untuk perbandingan hasil analisa.

Tabel 4. 3 Perbandingan Hasil Analisa

	K_T	$10K_Q$	η_0
Prakash dan Nath, 2012	0.142	0.201	0.623
Analisa CFD	0.144	0.217	0.599

Untuk nilai K_T perbandingan hasil dengan CFD dengan grafik B – Series sebesar 1,6%. Untuk nilai K_Q perbandingan hasil dengan CFD dengan grafik B – Series sebesar 8 %. Sedangkan perbandingan efisiensi hasil CFD dengan grafik B – Series sebesar 4%.

Selanjutnya dilakukan validasi menggunakan diagram Wagening $K_T - K_Q - \eta_0$ pada B-Series 4 daun, $A_e/A_o = 0,55$, dan $P/D = 0,8$ (Barnitsas dkk, 1981). Pada Gambar 4.6 merupakan penggambaran posisi dari tiap titik dari nilai $K_T - K_Q - \eta_0$ dengan nilai *koefisien advance* (J) sebesar 0,569.



Gambar 4. 6 Posisi Diagram $K_T - K_Q - \eta_0$ pada $J = 0.569$ dan $P/D = 0.80$

Pada Gambar 4.6 titik dan garis warna ungu menunjukkan posisi nilai efisiensi pada diagram. Sedangkan titik dan garis biru menunjukkan posisi nilai K_T . Untuk titik dan garis hijau menunjukkan posisi K_Q . Pada hasil analisa CFD pada Tabel 4.3 didapatkan nilai K_T sebesar 0,144 sedangkan pada diagram didapatkan nilai sebesar 0,143 sehingga *error* antara keduanya sebesar 0,69 %. Untuk nilai K_Q pada Tabel 4.3 didapatkan nilai sebesar 0,0217 sedangkan pada diagram 0,0225 sehingga *error* antara keduanya sebesar 3,5%. Sedangkan nilai efisiensi dari Tabel 4.3 didapatkan nilai sebesar 0,599 sedangkan nilai pada diagram didapat sebesar 0,610 sehingga *error* antara keduanya sebesar 1,8%.

Untuk memperkuat validasi dilakukan perbandingan menggunakan perhitungan matematis. Digunakan persamaan K_T dan K_Q dari buku (Barnitsas dkk, 1981) dapat dilihat pada persamaan 4.1 dan 4.2 :

$$K_T = \sum_{n=1}^{47} C_n(J)^{S_n}(P/D)^{T_n}(Ae/Ao)^{U_n}(Z)^{V_n} \quad 4.1$$

$$K_Q = \sum_{n=1}^{39} C_n(J)^{S_n}(P/D)^{T_n}(Ae/Ao)^{U_n}(Z)^{V_n} \quad 4.2$$

Sedangkan untuk mendapatkan nilai koefisien pada persamaan 4.1 dan 4.2 dapat diambil pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Tabel Koefisien Untuk K_T dan K_Q

Thrust (K_T)					Torque (K_Q)						
n	$C_{s,t,u,v}$	$s(J)$	$t(P/D)$	$u(A_E/A_O)$	$v(Z)$	n	$C_{s,t,u,v}$	$s(J)$	$t(P/D)$	$u(A_E/A_O)$	$v(Z)$
1	+0.00880496	0	0	0	0	1	+0.00379368	0	0	0	0
2	-0.204554	1	0	0	0	2	+0.00886523	2	0	0	0
3	+0.166351	0	1	0	0	3	-0.032241	1	1	0	0
4	+0.158114	0	2	0	0	4	+0.00344778	0	2	0	0
5	-0.147581	2	0	1	0	5	-0.0408811	0	1	1	0
6	-0.481497	1	1	1	0	6	-0.108009	1	1	1	0
7	+0.415437	0	2	1	0	7	-0.0885381	2	1	1	0
8	+0.0144043	0	0	0	1	8	+0.188561	0	2	1	0
9	-0.0530054	2	0	0	1	9	-0.00370871	1	0	0	1
10	+0.0143481	0	1	0	1	10	+0.00513696	0	1	0	1
11	+0.0606826	1	1	0	1	11	+0.0209449	1	1	0	1
12	-0.0125894	0	0	1	1	12	+0.00474319	2	1	0	1
13	+0.0109689	1	0	1	1	13	-0.00723408	2	0	1	1
14	-0.133698	0	3	0	0	14	+0.00438388	1	1	1	1
15	+0.00638407	0	6	0	0	15	-0.0269403	0	2	1	1
16	-0.00132718	2	6	0	0	16	+0.0558082	3	0	1	0
17	+0.168496	3	0	1	0	17	+0.0161886	0	3	1	0
18	-0.0507214	0	0	2	0	18	+0.00318086	1	3	1	0
19	+0.0854559	2	0	2	0	19	+0.015896	0	0	2	0
20	-0.0504475	3	0	2	0	20	+0.0471729	1	0	2	0
21	+0.010465	1	6	2	0	21	+0.0196283	3	0	2	0
22	-0.00648272	2	6	2	0	22	-0.0502782	0	1	2	0
23	-0.00841728	0	3	0	1	23	-0.030055	3	1	2	0
24	+0.0168424	1	3	0	1	24	+0.0417122	2	2	2	0
25	-0.00102296	3	3	0	1	25	-0.0397722	0	3	2	0
26	-0.0317791	0	3	1	1	26	-0.00350024	0	6	2	0
27	+0.018604	1	0	2	1	27	-0.0106854	3	0	0	1
28	-0.00410798	0	2	2	1	28	+0.00110903	3	3	0	1
29	-0.000606848	0	0	0	2	29	-0.000313912	0	6	0	1
30	-0.0049819	1	0	0	2	30	+0.0035985	3	0	1	1
31	+0.0025983	2	0	0	2	31	-0.00142121	0	6	1	1
32	-0.000560528	3	0	0	2	32	-0.00383637	1	0	2	1
33	-0.00163652	1	2	0	2	33	+0.0126803	0	2	2	1
34	-0.000328787	1	6	0	2	34	-0.00318278	2	3	2	1
35	+0.000116502	2	6	0	2	35	+0.00334268	0	6	2	1
36	+0.000690904	0	0	1	2	36	-0.00183491	1	1	0	2
37	+0.00421749	0	3	1	2	37	+0.000112451	3	2	0	2
38	+0.0000565229	3	6	1	2	38	-0.0000297228	3	6	0	2
39	-0.00146564	0	3	2	2	39	+0.000269551	1	0	1	2
						40	+0.00083265	2	0	1	2
						41	+0.00155334	0	2	1	2
						42	+0.000302683	0	6	1	2
						43	-0.0001843	0	0	2	2
						44	-0.000425399	0	3	2	2
						45	+0.0000869243	3	3	2	2
						46	-0.0004659	0	6	2	2
						47	+0.0000554194	1	6	2	2

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan Tabel 4.4 maka didapatkan nilai K_T untuk $J = 0,569$, $P/D = 0,80$, $Ae/Ao = 0,55$, dan $Z = 4$ sebesar 0,142. Sedangkan nilai $10K_Q$ sebesar 0,206 dan efisiensi sebesar

0,621. Untuk tabel perhitungan dapat dilihat pada Lampiran 3. Setelah dilakukan perbandingan dengan hasil CFD didapatkan perbandingan untuk *error* K_T sebesar 1,3%, $10K_Q$ sebesar 5,3%, dan efisiensi sebesar 3,5%.

4.3 Hasil Analisa dan Simulasi CFD

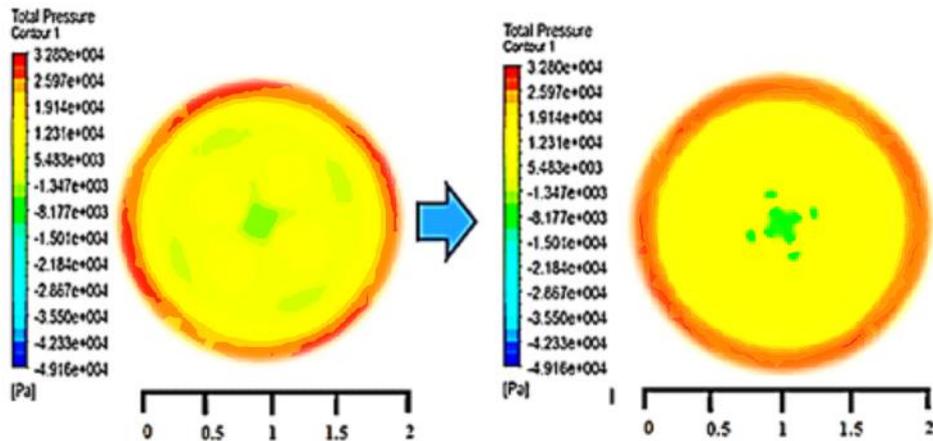
4.3.1 Penambahan PBCF

Dalam ITTC Ouichi dkk, (1988) menjelaskan bahwa dengan menambahkan PBCF dapat menambahkan efisiensi dari keseluruhan sistem baling - baling. Sehingga dilakukan pembuktian pada baling - baling yang sebelumnya telah divalidasi dan dibandingkan dengan penelitian sebelum. Baling – baling tersebut dilakukan penambahan PBCF lalu diuji menggunakan perangkat lunak CFD. Sehingga didapatkan hasil perbandingan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Perbandingan Hasil Analisa Penambahan PBCF

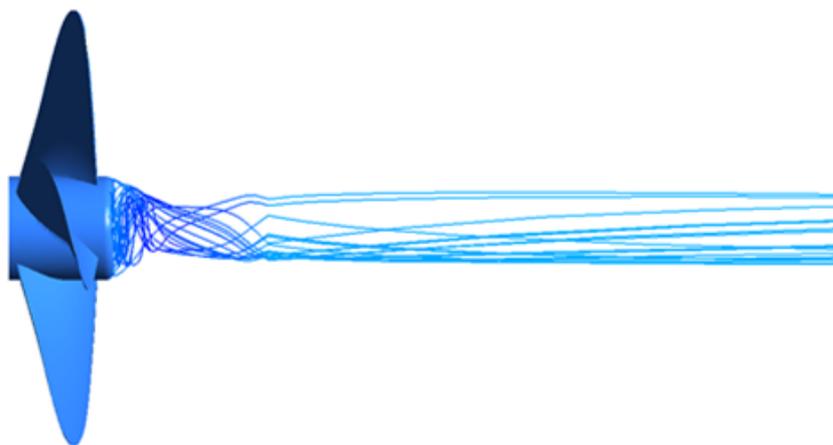
	K_T	$10K_Q$	η_0
Normal Prop.	0.143	0.217	0.599
Prop. with PBCF	0.144	0.216	0.604

Didapatkan peningkatan nilai K_T sebesar 0,7% dan penurunan nilai K_Q sebesar 0,5% dari nilai baling - baling tanpa PBCF. Sehingga didapatkan peningkatan efisiensi sebesar 0,8 %. Menurut Ouichi dkk (1988) dan Nojiri dkk, (2011) bahwa dengan penambahan PBCF dapat meningkatkan nilai gaya dorong baling – baling dan menurunkan nilai torsi baling – baling akibat hilangnya efek *hub vortex* sehingga nilai efisiensi baling – baling meningkat. Berikut hasil visualisasi kontur tekanan axial dan bentuk aliran pada daerah disekitar *hub cap* dari simulasi CFD pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.

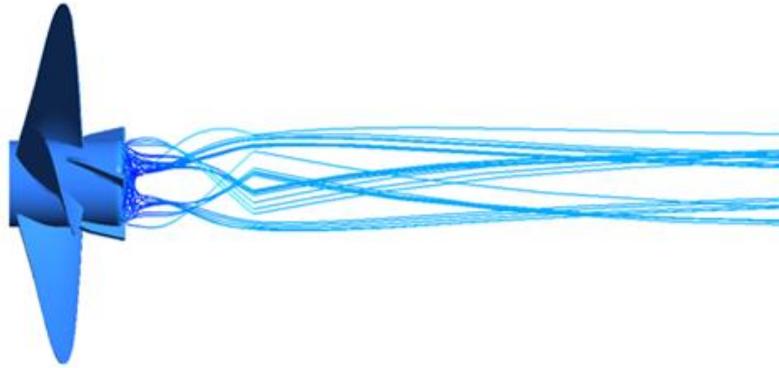


Gambar 4. 7 Perbandingan Tekanan Axial Pada Non PBCF dan PBCF

Pada Gambar 4.7 terlihat perbandingan tekanan axial, Gambar sebelah kiri merupakan axial pada non PBCF sedangkan Gambar pada sebelah kanan merupakan baling - baling dengan PBCF. Terlihat sebelum menambahkan PBCF maka tekanan negatif terpusat pada daerah *hub cap* yaitu bagian tengah lingkaran, namun setelah ditambahkan PBCF, tekanan terurai akibat penambahan 4 buah *fins*. Seperti yang dikatakan Ghasemmi dkk, (2013) dan Lim dkk, (2016) bahwa dengan menambahkan PBCF dapat mengurai distribusi tekanan negatif yang dapat mengindikasikan terjadinya *hub vortex*. Ditunjukkan perbandingan bentuk aliran yang terjadi pada non PBCF dan PBCF ditampilkan pada Gambar 4.8 sebagai detailnya.



(a) Non PBCF



(b) PBCF

Gambar 4. 8 Perbandingan setelah penambahan PBCF dan sebelum pemasangan pada aliran *vortex*

Pada Gambar 4.8 (a) merupakan baling – baling sebelum ditambahkan PBCF sedangkan pada gambar (b) adalah baling - baling setelah ditambahkan PBCF. Terlihat aliran disekitar *hub cap* sebelum ditambahkan PBCF mengalami *hub vortex* seperti yang dikatakan Mizzi dkk, (2017) dengan menggunakan CFD kita dapat mengindikasikan bentuk *downstream* pada aliran *vortex* yang terfokuskan pada bagian *hub cap* baling – baling. Terlihat pada Gambar 4.8 *vortex* terjadi pada *baling - baling non PBCF* sedangkan setelah ditambahkan PBCF aliran *downstream* terurai dan mulai tidak terjadi *hub vortex* walaupun aliran belum sepenuhnya membaik. Menurut Druckenbrod dkk, (2015) menggunakan perangkat lunak CFD kita dapat memvisualisasikan bentuk *hub vortex* melalui aliran *streamline* yang dihasilkan pada daerah *hub cap* dan dengan penambahan PBCF aliran *vortex* yang terjadi yang terindikasikan mulai menghilang.. Menurut Oichi dkk, (1988) PBCF akan memperbaiki aliran disekitar *hub cap* sehingga tidak terjadi *hub vortex*.

4.3.2 Modifikasi Bentuk *Hub Cap*

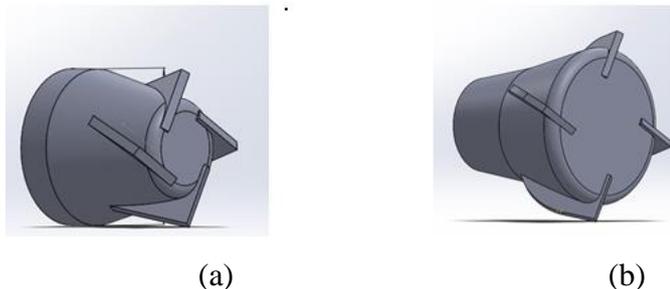
Setelah didapatkan hasil penambahan efisiensi pada baling - baling akibat penambahan PBCF maka dilakukan pemvariasian bentuk *hub cap*. Pada analisa selanjutnya akan melakukan pemvariasian sudut kemiringan pada dua jenis *hub cap* baling – baling. Pada penelitian mengenai

pengaruh variasi *hub cap* dipilih dua jenis *hub cap* yaitu jenis konvergen dan jenis divergen (Kawamura dkk, 2013), bentuk dari kedua *hub cap* tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Bentuk *Hub Cap* [Kawamura dkk, 2013]

Pada Gambar 4.9 (a) merupakan *hub cap* bertipe konvergen dimana bentuk dari geometrinya mengerucut, sedangkan 4.8 Gambar (b) merupakan *hub cap* dengan tipe divergen dimana bentuk dari geometrinya melebar keluar. Selanjutnya kedua *hub cap* tersebut akan dilakukan penambahan *fins* seperti pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Bentuk *Hub Cap* Setelah ditambahkan *fins*

Kedua tipe *hub cap* akan dilakukan pemvariasian sudut kemiringan sebesar 5° , 10° , dan 15° sebelum penambahan fins maupun setelah diberikan penambahan fins. Hal ini untuk membandingkan apakah akan terjadi pengaruh pada efisiensi setelah dilakukan pemvariasian sudut kemiringan *hub cap* sebelum penambahan PBCF maupun setelah penambahan PBCF.

4.3.3 Variasi Bentuk *Hub Cap*

Pada tahap awal dilakukan pemvariasian pada bentuk *hub cap* terlebih dahulu untuk mengetahui efek perubahan sudut dan bentuk *hub cap* terhadap efisiensi yang *cap* konvergen dengan perubahan sudut

kemiringan hub cap antara 0 hingga 15 derajat. Didapatkanlah hasil seperti yang tertera pada Tabel. 4.6.

Tabel 4. 6 Hasil Analisa Variasi *Hub Cap* Tipe Konvergen

Parameter	0°	5°	10°	15°
K _T	0,143	0,144	0,144	0,145
10K _Q	0,217	0,212	0,209	0,209
Efisiensi	0,599	0,614	0,624	0,625

Dari Tabel 4.5 terlihat kenaikan nilai K_T sebesar 0,2% sedangkan K_Q mengalami penurunan secara perlahan dengan persentase sebesar 1,4%. Fenomena naiknya K_T dan turunnya K_Q menurut Islam dkk, (2006) secara matematis dipengaruhi akibat pengaruh dari koefisien tekanan. Dapat dilihat pada persamaan (4.3) gaya dorong dipengaruhi dengan adanya tekanan.

$$F = m V_e + \Delta p A \quad (4.3)$$

Dimana F adalah gaya dorong, m merupakan massa aliran, V_e merupakan kecepatan, Δp adalah perbedaan tekanan, A adalah area benda. Ketika nilai Δp mengalami penurunan maka gaya dorong yang didapatkan akan berbanding lurus dengan tekanan yang terjadi. Dalam penelitiannya Islam dkk, (2006) mengungkapkan bentuk cap konvergen mendistribusikan tekanan dibagian *root blade* dengan baik sehingga gaya dorong yang tercipta menjadi lebih baik. Sedangkan pengaruh sudut kemiringan akan berpengaruh pada luasan (α) pada daerah terjadi tekanan pada *hub cap* sesuai dengan persamaan (4.4).

$$F = P/a \quad (4.4)$$

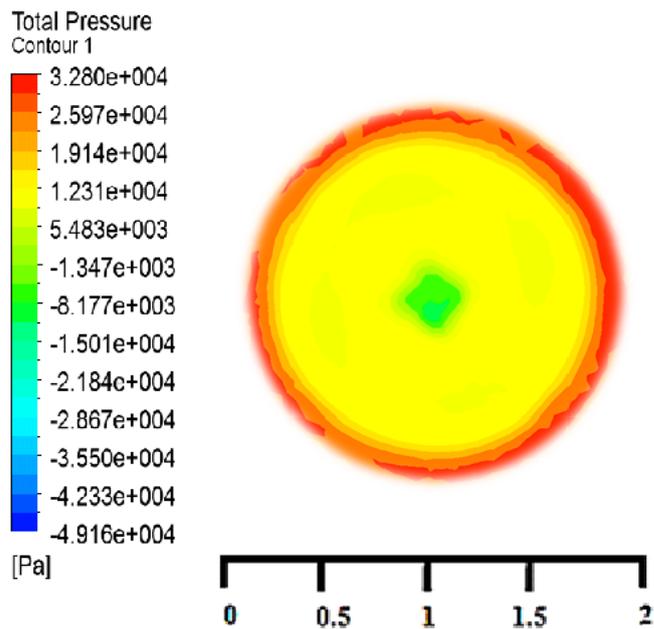
Dari persamaan (4.2) dapat disimpulkan sudut kemiringan pada *hub cap* dapat mempengaruhi gaya dorong yang terjadi pada baling – baling akibat menurunkan tekanan pada daerah *root blade*. Dalam bukunya McCormick dkk (1995) menjelaskan perhitungan revolusi per menit bisa didapatkan melalui persamaan (4.5) sebagai berikut.

$$\omega = \frac{C_T J}{C_P} \quad (4.5)$$

Dimana ω merupakan revolusi per menit, C_T merupakan koefisien gaya dorong, C_P merupakan koefisien tekanan dan J adalah koefisien *advance*. Setelah mendapatkan rpm kita bisa mencari torsi dengan menggunakan persamaan (4.6).

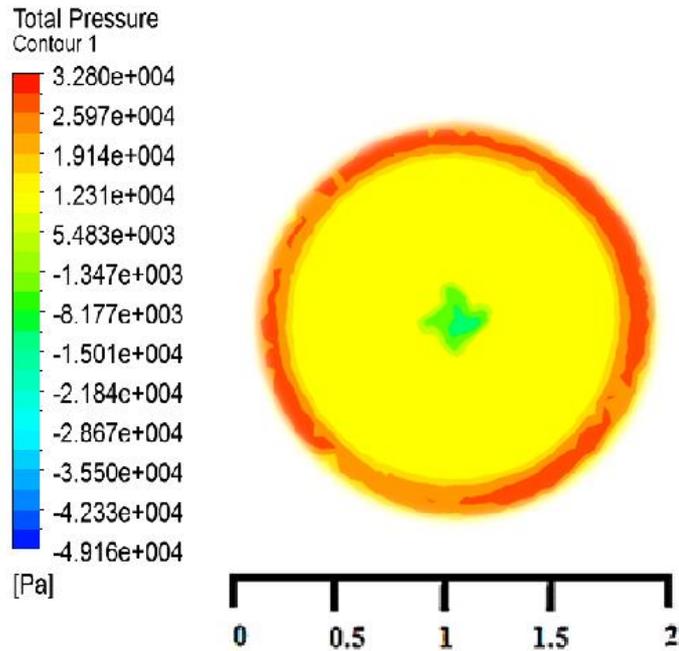
$$P_w = T \times \omega \quad (4.6)$$

Dimana P_w merupakan tenaga, T merupakan torsi, dan ω merupakan rpm. Ketika rpm yang dihasilkan gaya dorong besar maka untuk mencapai kebutuhan tenaga yang dihasilkan maka nilai torsi yang dibutuhkan kecil, sehingga pada Tabel 4.5 nilai torsi yang dihasilkan semakin menurun akibat nilai gaya dorong meningkat. Untuk memperoleh nilai efisiensi, besar kecil dari nilai efisiensi dipengaruhi oleh nilai gaya dorong dan nilai torsi yang dihasilkan baling - baling, seperti pada persamaan (2.4) pada bab sebelumnya ketika nilai gaya dorong naik dan torsi turun maka akan dihasilkan kenaikan nilai efisiensi. Pada konvergen cap didapatkan nilai efisiensi yang mengalami kenaikan sebesar 1,4%. Hal ini terjadi dikarena nilai K_T yang perlahan naik dan K_Q yang turun dibandingkan *baling - baling* dengan hub cap dengan sudut kemiringan 0 derajat.



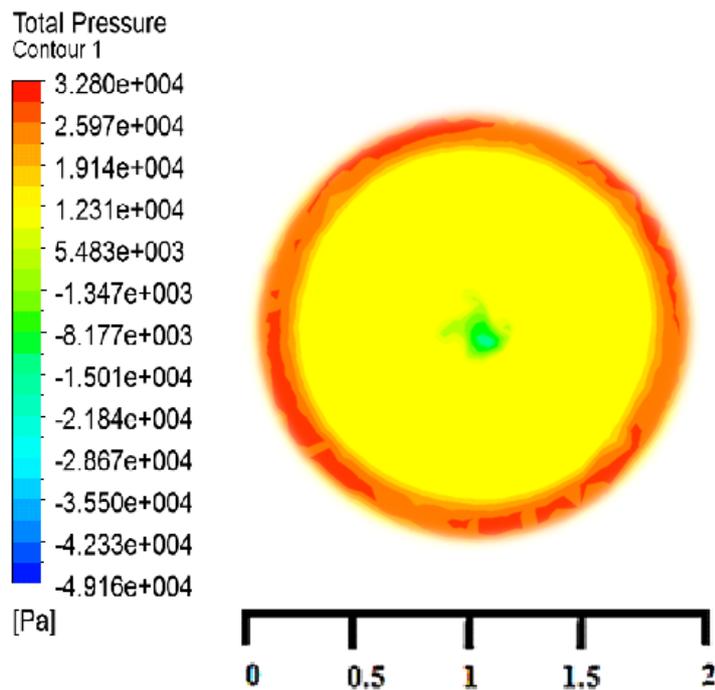
Gambar 4. 11 Simulasi Vektor Aliran Pada Hub Cap Jenis Konvergen dengan kemiringan 5 Derajat

Dari Gambar 4.11 terlihat terjadi aliran yang berkumpul pada area didepan *hub cap* baling – baling sesuai dengan daerah yang telah dilingkari dan membentuk sebuah pusaran. Terindikasi adanya tekanan negatif yang membentuk pusaran pada daerah *hub cap* dengan nilai sebesar - 28,67 kPa.



Gambar 4. 12 Simulasi Vektor Aliran Pada Hub Cap Jenis Konvergen dengan kemiringan 10 Derajat

Dari Gambar 4.12 terlihat terjadi aliran yang berkumpul pada area didepan *hub cap* baling - baling membentuk sebuah pusaran namun intensitasnya tidak sebanyak dan sebesar pada *hub cap* tipe konvergen dengan derajat kemiringan 5 derajat pada Gambar 4.10. Bentuk tekanan yang berada pada daerah *hub cap* berkurang luasannya dikarenakan ukuran area *hub cap* yang juga berkurang. Hal ini menunjukkan sesuai dengan persamaan tekanan ketika luas bidang tekan berkurang maka tekanan yang terjadi pun berkurang.



Gambar 4. 13 Simulasi Vektor Aliran Pada Hub Cap Jenis Konvergen dengan kemiringan 15 Derajat

Dari Gambar 4.13 terlihat tekanan yang terjadi pada daerah disekitar *hub cap* baling – baling intensitasnya tidak sebanyak dan sebesar pada *hub cap* tipe konvergen dengan derajat kemiringan cap 5 sesuai Gambar 4.10 maupun 10 derajat pada Gambar 4.11. Secara perlahan *hub vortex* pada *baling - baling* berkurang intensitasnya sedikit demi sedikit bersamaan bertambahnya derajat kemiringan. Menurut Kawamura dkk (2013) bentuk konvergen *cap* paling besar kemungkinan mengalami tekanan negatif pada ujung cap dikarenakan bentuk hub yang mengkrucut sehingga aliran terpusat menuju ujung hub cap sehingga intensitas terjadinya tekanan negatif lebih terkonsentrasi pada ujung hub cap dibandingkan pada jenis *hub cap* jenis yang lain. Pada penelitian mengenai bentuk ratio elipsoid Ota dkk, (1983) ketika bentuk elipsoid ratio semakin membesar maka hambatan dan tekanan yang dihasilkan pun semakin besar. Sehingga dapat dianalogikan pada bentuk konvergen cap yang semakin mengkrucut dengan rasio yang semakin mengecil dapat menurunkan tekanan dan menyebabkan aliran yang mengalir disekitarnya

mendekati laminar. Semakin kecil luas area tekanan pada daerah *hub cap* baling – baling maka semakin kecil juga tekanan yang terjadi pada daerah *hub cap* baling – baling.

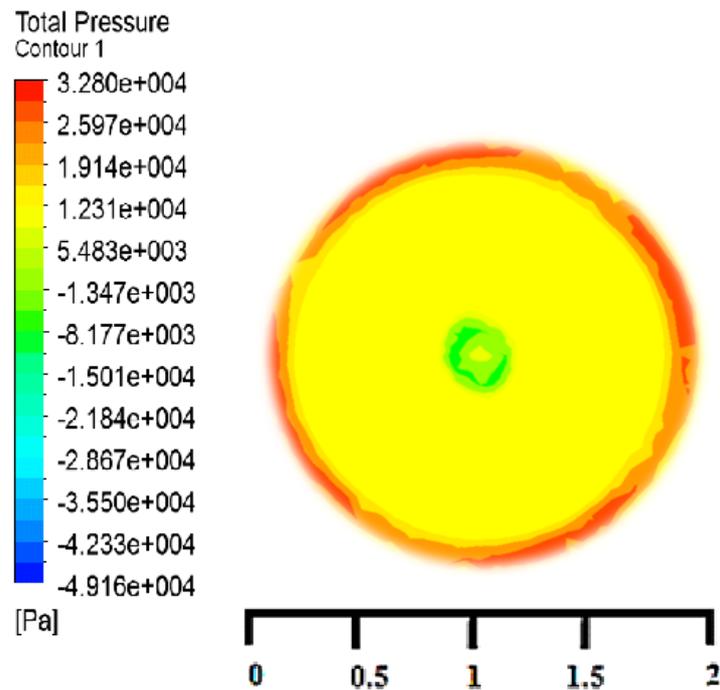
Pada tahap kedua dilakukan variasi pada jenis *hub cap* jenis divergen dengan perubahan sudut kemiringan *hub cap* antara 0 hingga 15 derajat. Didapatkanlah hasil seperti yang tertera pada Tabel. 4.7.

Tabel 4. 7 Hasil Analisa Variasi Pada Jenis Divergen *Cap*

Parameter	0°	5°	10°	15°
K _T	0,143	0,139	0,138	0,138
10K _Q	0,217	0,212	0,214	0,214
Efisiensi	0,599	0,599	0,584	0,583

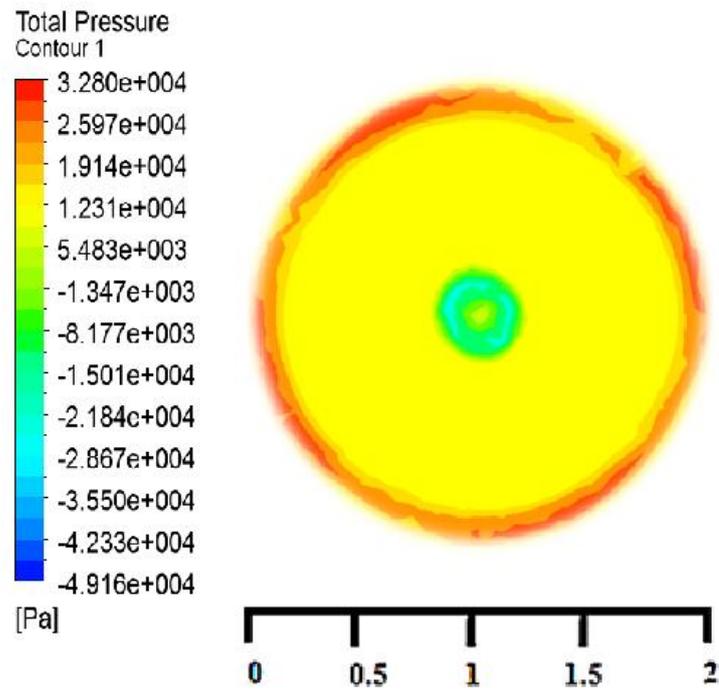
Dari Tabel 4.7 terlihat penurunan nilai K_T secara perlahan dari 1 % dari nilai 0 derajat. Sedangkan K_Q mengalami penurunan secara perlahan sebesar 1% selanjutnya perlahan meningkat secara perlahan hingga berhenti pada 10 derajat. Fenomena turunnya K_T menurut Islam dkk (2006) secara matematis dipengaruhi akibat pengaruh dari koefisien tekanan. Dapat dilihat pada persamaan (4.3) gaya dorong dipengaruhi dengan adanya tekanan. Ketika nilai tekanan mengalami penurunan hal ini dapat berpengaruh pada turunnya gaya dorong. Dalam penelitiannya bentuk divergen cap menimbulkan penurunan tekanan disekitar *root blade* hal ini mengakibatkan gaya dorong yang dihasilkan menjadi menurun. Dan pengaruh sudut kemiringan sesuai dengan persamaan (4.4) semakin besar sudut kemiringan maka gaya yang dihasilkanpun semakin berkurang akibat luasan daerah yang mengalami tekanan semakin besar sehingga nilai tekanan menurun. Untuk nilai koefisien torsi yang perlahan naik sesuai dengan penjelasan dari persamaan (4.5) ketika nilai gaya dorong yang dihasilkan bernilai kecil maka rpm pun akan mendapatkan nilai yang kecil, hal ini mempengaruhi nilai torsi yang harus dipenuhi agar tenaga yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan, sehingga nilai torsi naik untuk memenuhi kebutuhan tenaga. Hal tersebut sesuai dengan yang disampaikan oleh Ouichi dan Tamashima (1989) bahwa dengan adanya

hub vortex akan mengurangi tenaga yang dihasilkan baling – baling sehingga torsi yang dihasilkan meningkat. Ketika gaya dorong mengalami penurunan maka hal ini berdampak pada efisiensi yang dihasilkan oleh baling – baling sesuai dengan persamaan (2.4) dimana nilai koefisien gaya dorong dan koefisien torsi merupakan komponen untuk mendapat nilai efisiensi baling – baling. Penurunan gaya dorong pada Tabel 4.6 mengakibatkan nilai efisiensi perlahan mengalami penurunan hingga mencapai 1,2%. Untuk menjelaskan pengaruh tekanan terhadap performa dari baling – baling berikut disajikan visualisasi tekanan axial pada baling – baling, dapat dilihat pada Gambar 4.14, Gambar 4.15, dan Gambar 4.16.



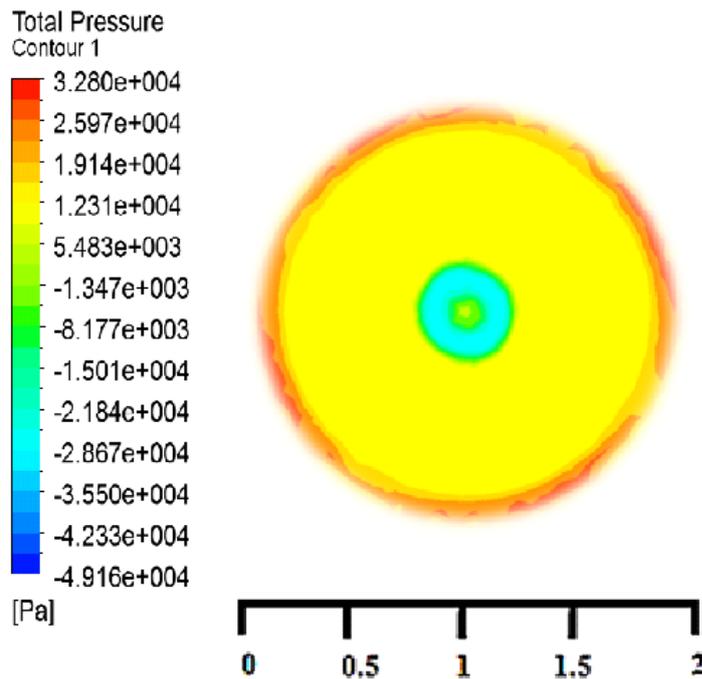
Gambar 4. 14 Simulasi Vektor Aliran Pada Hub Cap Jenis Divergen dengan kemiringan 5 Derajat

Dari Gambar 4.14 terlihat terdapat tekanan negatif pada ujung – ujung *hub cap*. Namun tekanan negatif pada bagian tengah tidak bernilai lebih kecil dibandingkan pada daerah ujung – ujung *hub cap*. Setelah dilakukan perhitungan dengan perangkat lunak CFD didapatkan nilai tekanan yang terdapat pada bagian tengah *hub cap* sebesar 5,48 kPa sedangkan pada ujung – ujung tepi *hub cap* memiliki nilai tekanan sebesar -8,17 kPa.



Gambar 4. 15 Simulasi Vektor Aliran Pada Hub Cap Jenis Divergen dengan kemiringan 10 Derajat

Dari Gambar 4.15 terjadi penurunan kecepatan yang drastis hal tersebut dapat dilihat dari warna tekanan axial yang awalnya berwarna hijau pada Gambar 4.14 berubah menjadi berwarna biru muda yang mengindikasikan terjadi penurunan pressure berlebihan dengan nilai sebesar -21.84 kPa. Sehingga dengan fenomena tekanan negatif tersebut mengindikasikan terjadi *hub vortex* dan gelembung kavitasi berlebih pada *hub cap* seperti yang disampaikan Ghassemi dkk (2012) dan Seo dkk (2016).

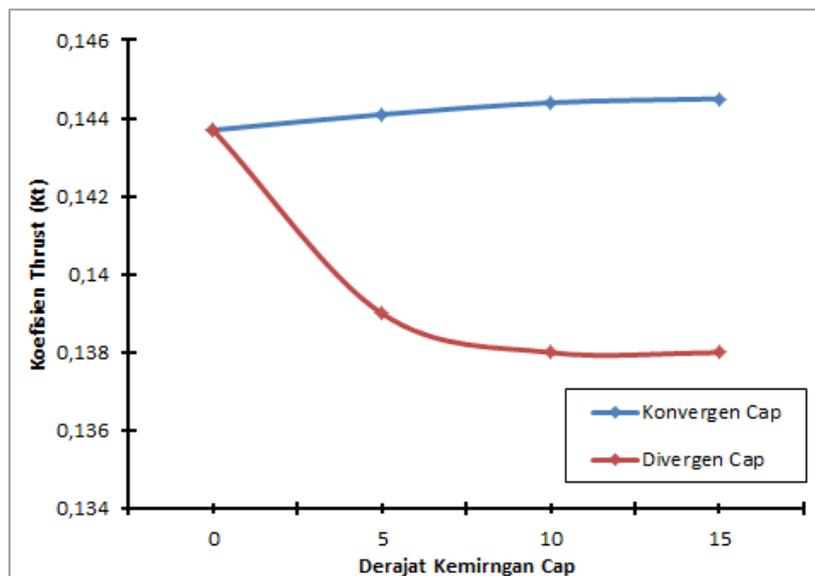


Gambar 4. 16 Simulasi Vektor Aliran Pada Hub Cap Jenis Divergen dengan kemiringan 15 Derajat

Dari Gambar 4.16 terjadi penurunan tekanan yang drastis hal tersebut dapat dilihat dari warna tekanan axial berwarna biru muda yang awalnya berada didalam penanda lingkaran dapat dilihat pada Gambar 4.15 meluas melewati penanda daerah *hub cap* dapat dilihat pada Gambar 4.16. Fenomena ini mengindikasikan terjadi penurunan tekanan berlebihan dengan nilai sebesar -25.18 kPa dan nilai lebih rendah apabila dibandingkan dengan divergent 10 derajat. Sehingga dengan fenomena tekanan negatif tersebut mengindikasikan terjadi *hub vortex* dan gelembung kavitasi berlebih pada *hub cap* seperti yang disampaikan Ghassemi dkk (2012) dan Seo dkk (2016) meluas melewati daerah sekitar *hub cap*. Hal inilah yang menyebabkan gaya dorong dari baling – baling perlahan menurun dan torsi baling - baling perlahan naik. Ada *hub vortex* yang terjadi seperti yang dikatakan oleh Lim dkk (2014) dalam penelitian sebelumnya menyebabkan penurunan performa pada tipe divergen *cap*. Ouchi dan Tamashima (1989) Berpendapat adanya *hub vortex* menyebabkan terjadinya energi yang terbuang dari baling – baling

sehingga torsi yang dihasilkan meningkat untuk mengganti energi yang terbuang akibat fenomena *hub vortex*.

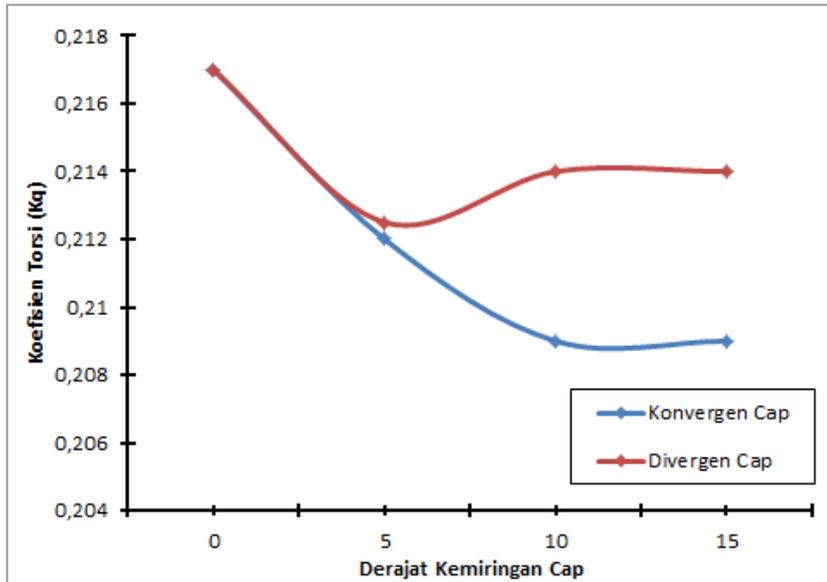
Perbandingan antara konvergen *cap* dan divergen *cap* dari segi performa, nilai K_T dari kedua *cap* menunjukkan hasil yang berbeda, terlihat dari grafik pada Gambar 4.16. Konvergen *cap* mengalami peningkatan nilai koefisien *thrust* sedangkan divergen *cap* mengalami penurunan nilai koefisien *thrust* seiring bertambahnya derajat kemiringan pada *hub cap*. Hal ini dijelaskan melalui persamaan (4.2) maka seiring bertambahnya nilai sudut kemiringan maka nilai gaya dorong akan mengalami penurunan, sehingga didapatkanlah grafik seperti pada Gambar 4.16.



Gambar 4. 17 Perbandingan K_T

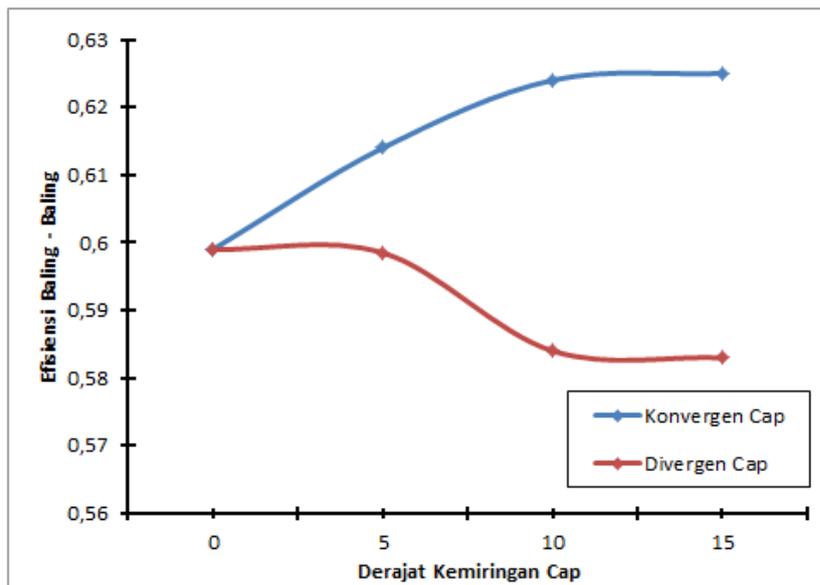
Perbandingan antara konvergen *cap* dan divergen *cap* dari segi performa, nilai K_Q dari kedua *cap* menunjukkan hasil yang berbeda, terlihat dari grafik pada Gambar 4.17. Konvergen *cap* mengalami penurunan nilai koefisien torsi sedangkan divergen *cap* mengalami kenaikan nilai koefisien torsi seiring bertambahnya derajat kemiringan pada *hub cap*. Hal ini dijelaskan melalui persamaan (4.4) dimana torsi berbanding terbalik dengan dengan nilai rpm yang dihasilkan, seperti yang dijelaskan oleh Ouichi dan Tamashima (1989) dalam penelitiannya

mengenai *hub vortex* yang dapat menghilangkan energi yang dihasilkan baling – baling menyebabkan peningkatan nilai torsi dikarenakan nilai rpm yang turun.



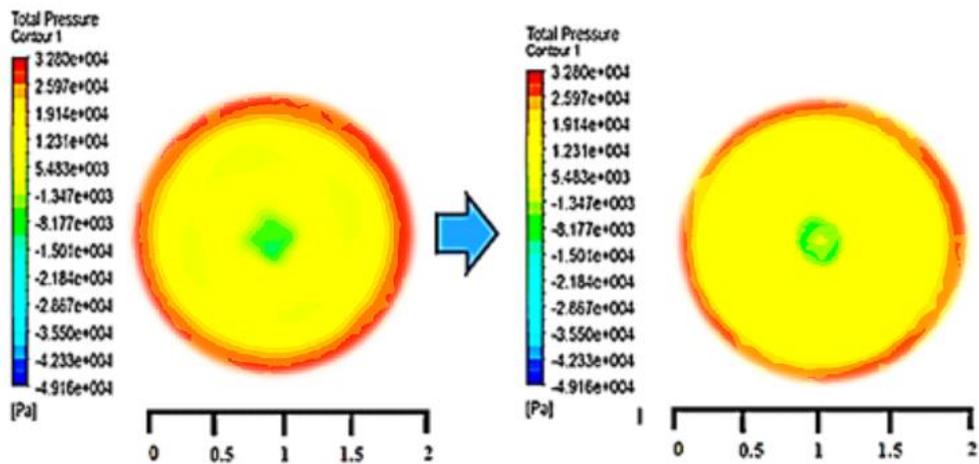
Gambar 4. 18 Perbandingan K_Q

Perbandingan antara konvergen *cap* dan divergen *cap* dari segi performa, nilai efisiensi dari kedua *cap* menunjukkan hasil yang berbeda, terlihat dari grafik pada Gambar 4.18. Konvergen *cap* mengalami peningkatan nilai efisiensi sedangkan divergen *cap* mengalami penurunan nilai efisiensi seiring bertambahnya derajat kemiringan pada *hub cap*. Hal ini dijelaskan melalui persamaan (2.4) dimana ketika nilai gaya dorong mengalami kenaikan dan torsi mengalami penurunan maka efisiensi yang didapatkan akan meningkat. Sebaliknya apabila nilai gaya dorong mengalami penurunan sedangkan torsi mengalami peningkatan maka nilai efisiensi akan mengalami penurunan.

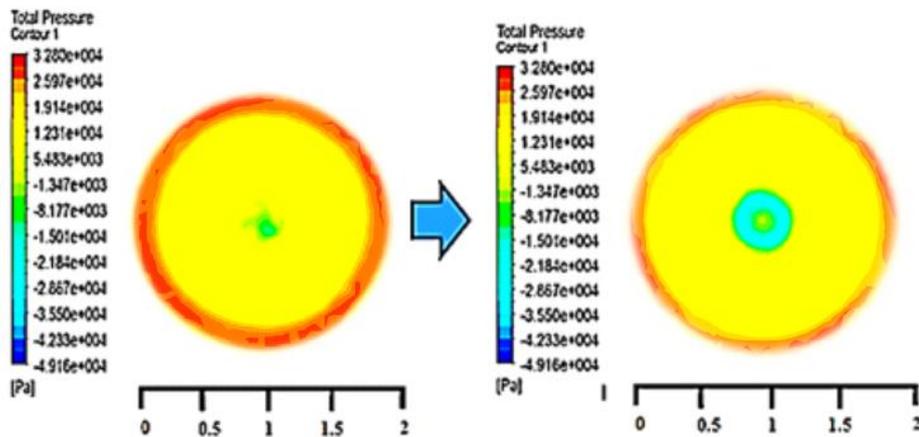


Gambar 4. 19 Perbandingan Efisiensi

Selanjutnya didapatkan hasil perbandingan visualiasi tekanan axial pada aliran dari kedua bentuk *cap* tersebut. Pada Gambar 4.20 merupakan perbandingan *cap* bertipe konvergen dengan *cap* bertipe divergen pada sudut kemiringan 5 derajat dan 15 derajat.



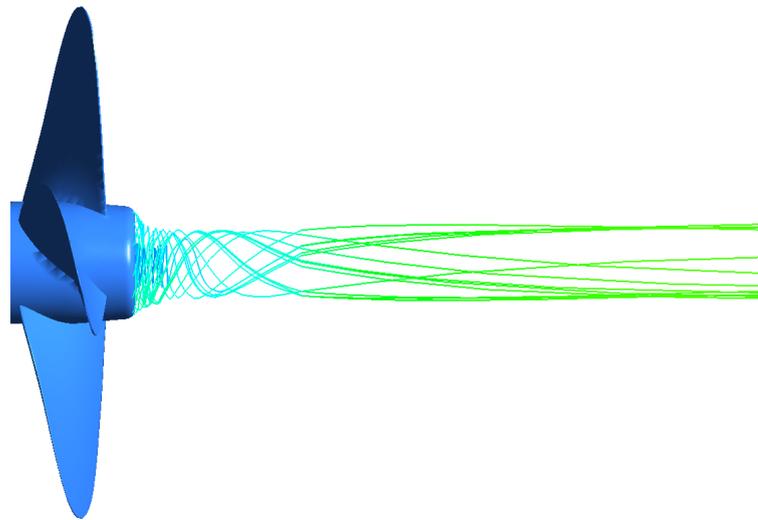
(a) tipe *cap* konvergen pada 5 derajat kemiringan dan tipe *cap* divergen pada 5 derajat kemiringan



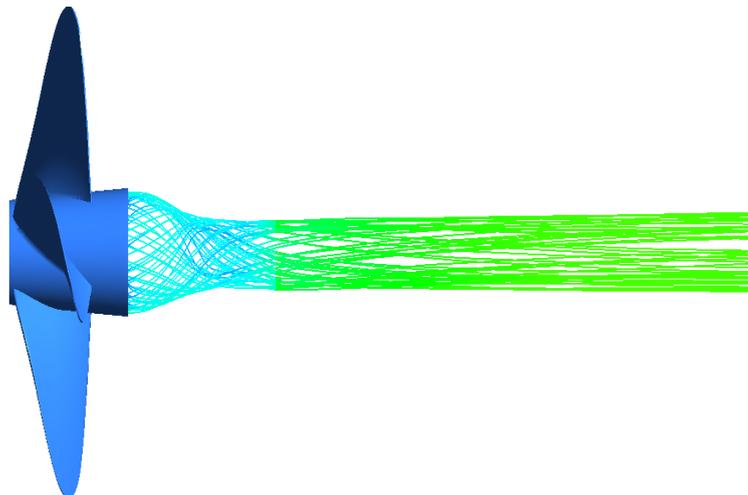
(b) tipe *cap* konvergen pada 15 derajat kemiringan dan tipe *cap* divergen pada 15 derajat kemiringan

Gambar 4. 20 Perbandingan Axial Pressure (a) 5 derajat (b) 15 derajat

Terlihat pada Gambar 4.20 (a) dan (b) sebelahkan merupakan konvergen *cap* sedangkan sebelah kiri divergen *cap*. Terlihat semakin tinggi sudut kemiringan maka kedua jenis *cap* ini memberikan hasil karakter yang berbeda. Pada sudut kemiringan kecil konvergen *cap* menghasilkan distribusi tekanan negatif yang dominan terkumpul pada *hub cap* dibandingkan divergen *cap*. Sedangkan setelah sudut kemiringan bertambah konvergen *cap* mulai terjadi pengurangan tekanan negatif sedangkan divergen *cap* mulai menunjukkan penambahan tekanan negatif yang berlebih. Sekali lagi hal ini sesuai dengan konsep tekanan yang dijelaskan pada persamaan (4.4) ketika luas daerah tekan bertambah maka tekanan yang terjadi semakin rendah dan merata sedangkan apabila daerah tekan berkurang maka tekanan meningkat dan terfokus pada satu daerah.



(a) Tipe konvergen cap pada kemiringan 5 derajat

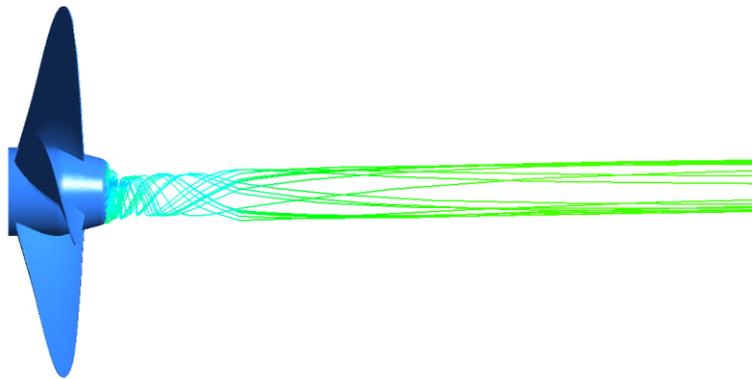


(b) Tipe divergen cap 5 pada kemiringan derajat

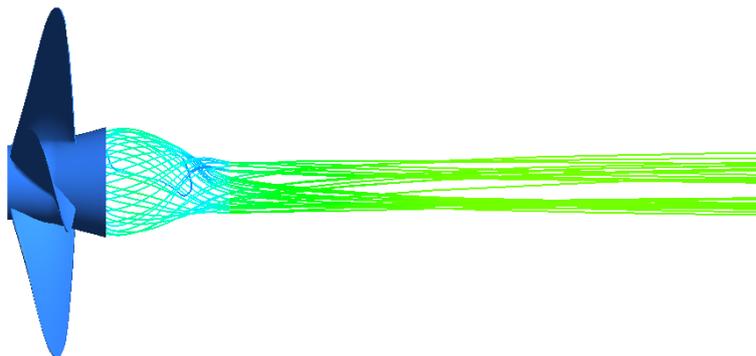
Gambar 4. 21 Perbandingan Streamline pada konvergen cap dan divergent cap 5 derajat

Gambar 4.21 menjelaskan mengenai bentuk aliran yang terjadi antara konvergen cap dan divergen cap. Pada Gambar 4.21 (a) merupakan baling - baling dengan cap tipe konvergen sedangkan Gambar 4.21 (b) merupakan baling - baling dengan cap tipe divergen. Seperti yang telah dijelaskan pada Gambar 4.20 (a) konvergen cap mengindikasikan adanya *hub vortex* dan dapat terlihat pada Gambar 4.21 (a) tepat pada area depan cap terindikasi terjadi *hub vortex* dengan aliran berwarna biru tua. Seperti yang dikatakan oleh Kawamura dkk, (2013) bawah konvergen cap memang paling besar menimbulkan tekanan negatif dibandingkan

divergen cap pada bentuk tertentu. Sedangkan pada Gambar 4.19 (b) divergen cap mengindikasikan tidak adanya *hub vortex* tapi tekanan negatif terjadi pada area ujung bagian cap. Gambar 4.20 (b) menjelaskan fenomena tersebut terlihat bahwa aliran *streamline* terfokus pada ujung – ujung cap baling - baling. Dijelaskan dalam papernya Islam dkk, (2006) bentuk *hub negative* atau disebut juga tipe divergen memang menghasilkan nilai performa yang buruk dibandingkan hub positive atau konvergen. Hal ini dipengaruhi akibat distribusi tekanan pada *root blade* yang berbeda dimana distribusi tekanan pada konvergen dapat menyebabkan kenaikan gaya dorong sedangkan hal sebaliknya terjadi pada divergen.



(a) Konvergen cap 15 derajat



(b) Divergen cap 15 derajat

Gambar 4. 22 Perbandingan Streamline pada konvergen cap dan divergent cap 15 derajat

Terlihat pada Gambar 4.21 pada bagian atas merupakan baling - baling dengan cap konvergen sedangkan pada bagian bawah merupakan

baling - baling dengan *cap* divergen. Seperti yang telah dijelaskan pada Gambar 4.20 (a) konvergen *cap* mengindikasikan *hub vortex* mulai berkurang dan dapat terlihat pada Gambar 4.21 (a) tepat pada depan *cap* terindikasi *hub vortex* berkurang dibandingkan pada Gambar 4.20 (a) yang terdapat *hub vortex*. Sedangkan pada Gambar 4.20 (b) divergen *cap* mengindikasikan terdapat adanya *hub vortex* dengan tekanan negatif yang begitu pekat pada daerah *hub cap*. Gambar 4.21 (b) menjelaskan fenomena tersebut terlihat bahwa aliran *streamline* terdapat *vortex* dengan ditanda dengan adanya garis aliran berwarna biru tua. Dijelaskan dalam papernya Islam dkk (2006) perubahan bentuk *tapper* pada *azzipod* ketika membentuk negative atau disebut juga divergen tipe dan bertambah sudut kemiringannya maka nilai performa makin mengalami penurunan berbeda dengan bentuk positive atau disebut juga tipe konvergen didapatkan kenaikan performa pada *azzipod* yang diubah bentuk *hub tapper*nya. Untuk keseluruhan bentuk *streamline* dan kontur aliran dapat dilihat pada lampiran 2, yaitu keseluruhan bentuk aliran *streamline* dan kontur aliran pada 0° hingga 15° . Untuk weak friction dan bentuk *streamline* konvensional *hub cap* dapat dilihat pada Lampiran 2.

4.3.4 Variasi Bentuk *Hub Cap* dan Penambahan PBCF

Pada tahap selanjutnya dilakukan penerapan PBCF pada bentuk *hub cap* yang telah berhasil dianalisa pada tahap sebelumnya. Variasi yang pertama dilakukan adalah pada jenis *hub cap* konvergen dengan perubahan sudut kemiringan *hub cap* antara 0 hingga 15 derajat ditambahkan *fins* sehingga diketahui apakah penambahan *fins* dapat memperbaiki performa *hub cap* pada tipe ini. Didapatkanlah hasil seperti yang tertera pada Tabel. 4.8.

Tabel 4. 8 Hasil Analisa Variasi PBCF pada Tipe Konvergen *Cap*

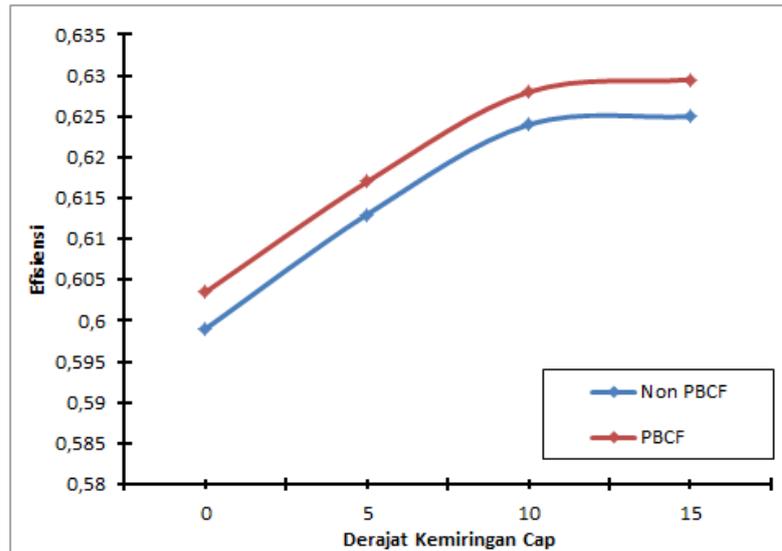
Parameter	0°	5°	10°	15°
K_T	0,144	0,147	0,147	0,148
$10K_Q$	0,216	0,215	0,213	0,213
Efisiensi	0,604	0,617	0,628	0,629

Sebelum dilakukan perbandingan dengan konvergen cap tanpa penambahan *fins*, efisiensi yang didapat tiap kenaikan derajatnya sebesar 2 % hingga 5 %. Apabila dibandingkan dengan efisiensi sebelum dan sesudah ditambahkan PBCF maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Perbandingan Efisiensi PBCF pada Konvergen *Cap*

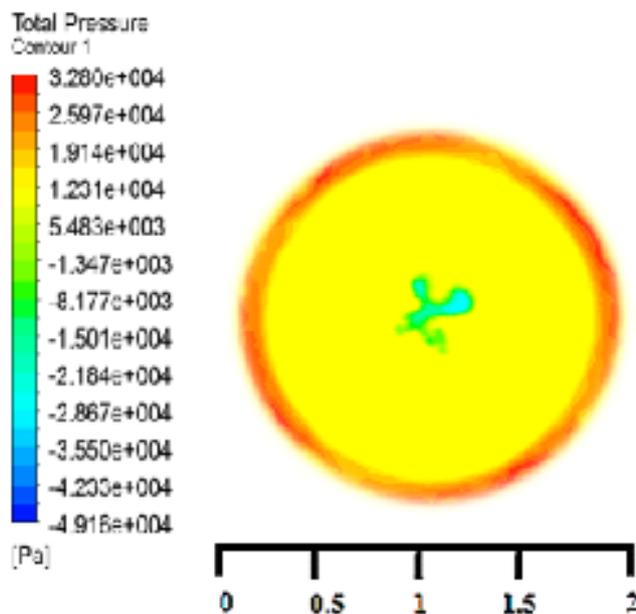
Parameter	0°	5°	10°	15°
Non PBCF	0,599	0,614	0,624	0,625
PBCF	0,604	0,617	0,628	0,629

Didapatkan penambahan efisiensi sebesar 0,5 % hingga 0,8 % setelah dilakukan penambahan *fins* pada tiap derajatnya. Dapat dilihat pada Gambar 4.22 terlihat kenaikan efisiensi antara non PBCF maupun dengan PBCF dan didapatkan nilai efisiensi PBCF berada diatas non PBCF. Fenomena penambahan efisiensi setelah modifikasi cap menjadi PBCF disebabkan oleh perbaikan fenomena tekanan yang terjadi pada daerah *hub cap* seperti yang dijelaskan oleh [Ouichi dkk, 1988 ; Ouichi dan Tamashima, 1989 ; Nojiri dkk, 2011] dengan ditambahkan PBCF maka tekanan pada daerah cap akan terdistribusi dengan baik sehingga tekanan yang bernilai negatif akan mengalami peningkatan nilai tekanan. Hal ini sesuai dengan persamaan (4.1) dan (4.2) gaya yang dihasilkan akan mengalami kenaikan. Dapat dilihat grafik pada Gambar 4.22 dimana dengan penambahan PBCF nilai efisiensi meningkat diatas baling – baling tanpa PBCF.



Gambar 4. 23 Grafik Perbandingan Konvergen Cap non PBCF dan PBCF

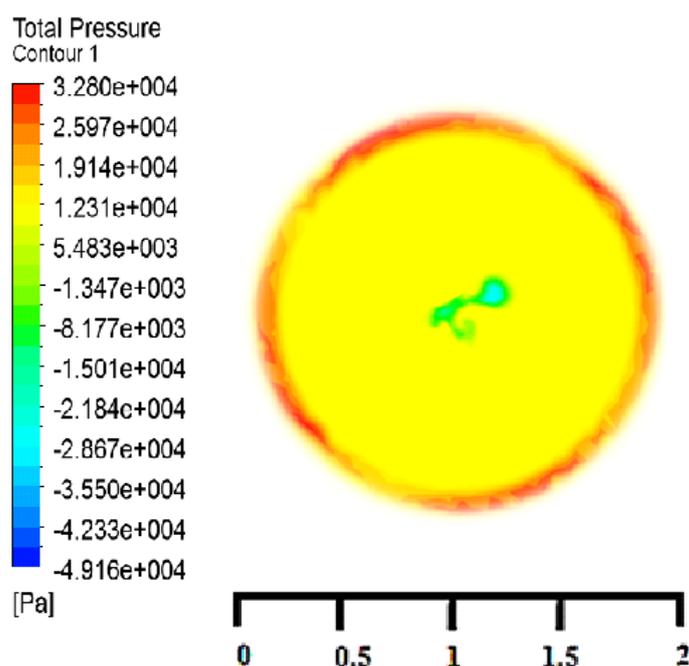
Dan berikut bentuk tekanan axial yang terjadi pada putaran disekitar baling – baling untuk mendeteksi terjadi tekanan negatif yang dapat menimbulkan gelembung kavitasi sehingga menyebabkan *hub vortex*. Dapat dilihat pada Gambar 4.23 untuk derajat kemiringan 5 derajat.



Gambar 4. 24 Tekanan axial pada hub cap konvergen dengan kemiringan 5 derajat

setelah pemasangan PBCF

Pada Gambar 4.24 merupakan visualisasi tekanan yang terjadi pada baling – baling konvergen cap dengan sudut kemiringan 5 derajat ketika mengalami perputaran sehingga menghasilkan tekanan disekeliling alirannya. Terlihat aliran ditengah lingkaran terjadi pada daerah *hub cap* baling - baling. Terlihat tekanan tidak terpusat dan terkumpul pada daerah *hub cap* namun berpindah pada keempat sisi *fins*. Warna kuning kemerah pada tengah lingkaran merupakan daerah dimana terletak *fins* dari PBCF terlihat semua tekanan terpusat pada fins tersebut. Hal ini menurut Ghasemmi dkk, (2013) merupakan fungsi dari PBCF dimana memecah tekanan negatif yang terjadi akibat penurunan tekanan yang mengakibatkan fenomena *hub vortex*. Fenomena ini terjadi juga pada sudut kemiringan *boss cap* 10 derajat dan 15 derajat. Dapat dilihat pada Gambar 4.25 dan 4.26.

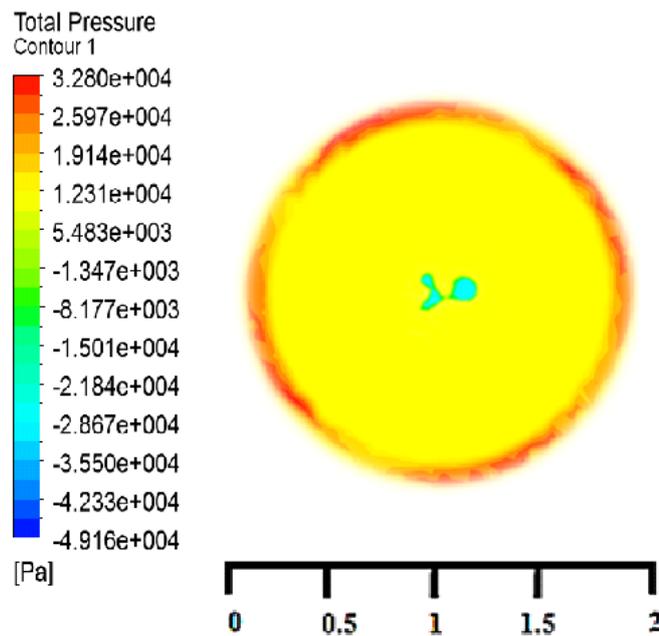


Gambar 4. 25 Tekanan axial pada hub cap konvergen dengan kemirngan 10 derajat

setelah pemasangan PBCF

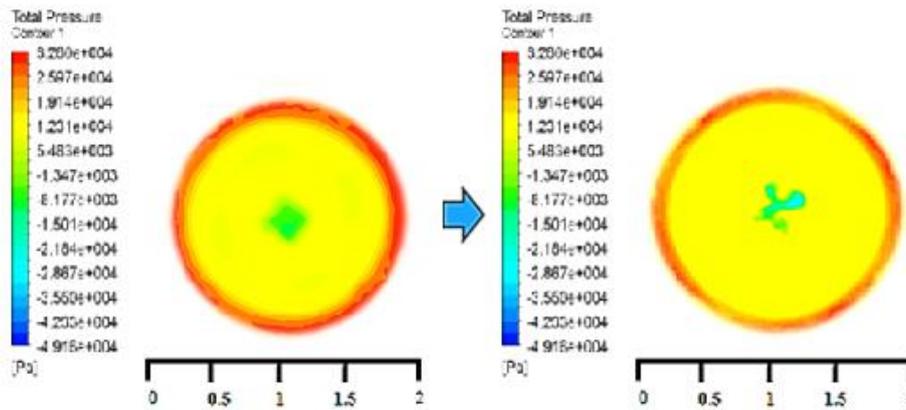
Pada Gambar 4.24 merupakan visualisasi tekanan yang terjadi pada baling – baling konvergen cap dengan sudut kemiringan 10 derajat ketika mengalami perputaran sehingga menghasilkan tekanan disekeliling

alirannya. Terlihat aliran merah yaitu dimana posisi fin berada semakin berubah ke warna kuning sedangkan tekanan negatif pada daerah tengah yang awalnya pada Gambar 4.23 masih berjumlah banyak semakin berkurang dan warna hijau muda semakin dominan yang menandakan distribusi tekanan pada *hub cap* semakin merata.



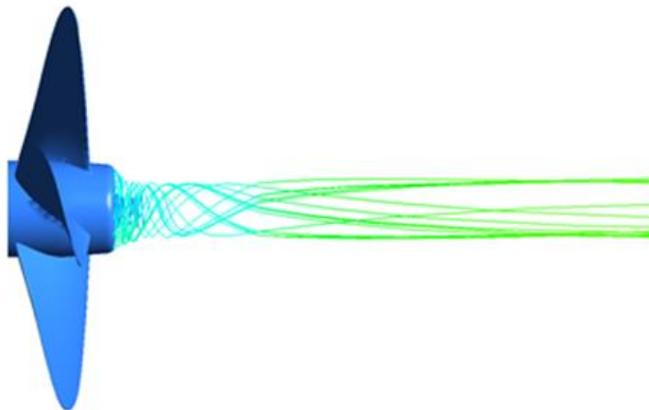
Gambar 4. 26 Tekanan axial pada hub cap konvergen dengan kemiringan 15 derajat setelah pemasangan PBCF

Apabila dibandingkan dari ketiga Gambar 4.23 , Gambar 4.24, dan Gambar 4.25 terlihat konsentrasi negative pressure sebesar -1.34 kPa pada *hub cap* mulai perlahan memudar dan berubah menjadi warna kuning dengan nilai pressure sebesar 5.48 kPa. Selanjutnya tekanan bernilai tinggi pada daerah *fin*s mulai berkurang dengan bertambahnya sudut kemiringan hub cap sehingga tekanan terdistribusi dengan rata. Menurut Dang dkk, (2011) ketika pressure meningkat pada *axial baling - baling contour* menandakan bahwa kecepatan aliran yang terbuang berkurang sehingga gaya dorong meningkat sehingga nilai pressure meningkat. Apabila dibandingkan dengan baling - baling tanpa penambahan PBCF maka akan terlihat perbedaan pada distribusi tekanan hub cap dapat dilihat pada Gambar 4.26.

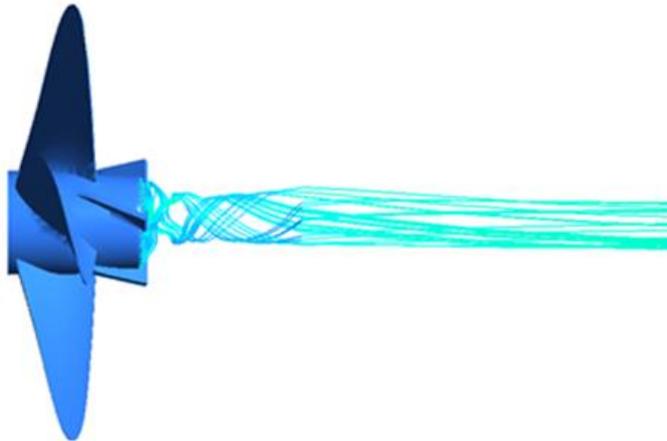


Gambar 4. 27 Perbandingan tekanan axial pada kemiringan hub cap 5 derajat tipe konvergen

Terlihat perubahan konsentrasi tekanan negatif dengan nilai 8.17 kPa pada *hub cap* berkurang dengan pemasangan PBCF sehingga tekanan pada hub cap didistribusikan pada setiap fins.



(a) Non PBCF pada konvergen cap



(b) Penambahan PBCF pada konvergen cap

Gambar 4. 28 Perbandingan Aliran pada kemiringan hub cap 5 derajat tipe konvergen

Seperti yang telah dijelaskan pada Gambar 4.26 bahwa tekanan negatif yang terjadi pada daerah *hub cap* terurai dengan adanya penambahan PBCF divisualkan pada Gambar 4.27. Terlihat yang pada awalnya terjadi pemusatan konsentrasi aliran pada Gambar 4.27 (a) yang berada daerah didepan *hub cap* terurai menjadi lebih renggang dengan adanya penambahan PBCF seperti pada Gambar 4.27 (b).

Pada tahap kedua dilakukan penambahan PBCF pada bentuk hub cap *divergent* yang telah berhasil dianalisa pada tahap sebelumnya. Variasi yang pertama dilakukan adalah pada jenis hub cap divergen dengan perubahan sudut kemiringan hub cap antara 0 hingga 15 derajat setelah itu dilakukan penambahan *fins* sehingga didapatkan data hasil analisa apakah penambahan *fins* dapat memperbaiki performa hub cap pada tipe ini. Didapatkanlah hasil seperti yang tertera pada Tabel. 4.10.

Tabel 4. 10 Hasil Analisa Variasi PBCF pada tipe divergen cap

Parameter	0°	5°	10°	15°
K_T	0,144	0,144	0,142	0,141
10K _Q	0,216	0,217	0,218	0,222
Efisiensi	0,604	0,601	0,589	0,575

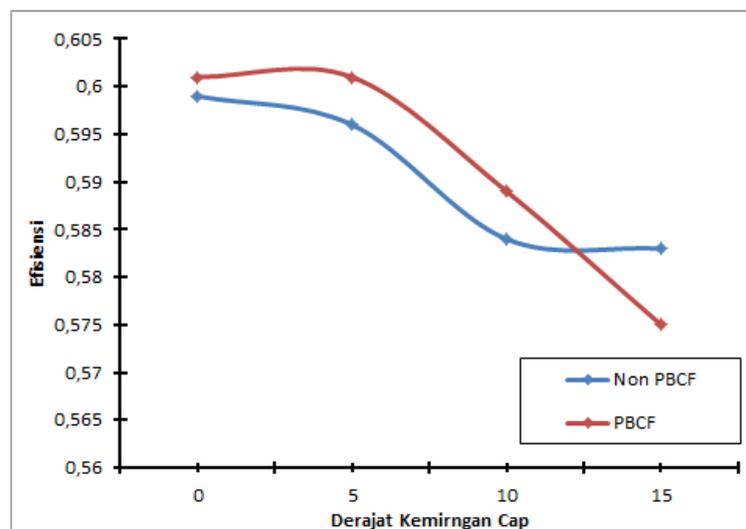
Sebelum dilakukan perbandingan dengan divergen cap tanpa penambahan *fins*, efisiensi yang didapat tiap kenaikan derajatnya

mengalami penurunan sebesar 2 % hingga 4 %. Apabila dibandingkan dengan efisiensi sebelum dan sesudah ditambahkan PBCF maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Perbandingan Efisiensi PBCF pada tipe divergen *Cap*

Parameter	0 ^o	5 ^o	10 ^o	15 ^o
Non PBCF	0,599	0,596	0,584	0,583
PBCF	0,604	0,601	0,589	0,575

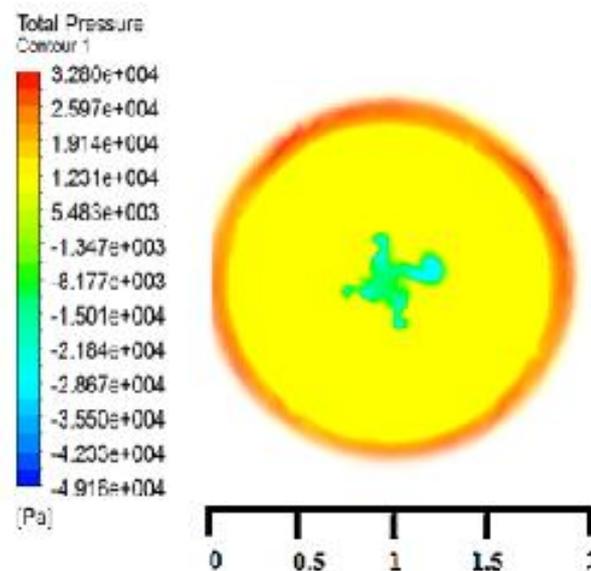
Didapatkan penambahan efisiensi sebesar 0,8 % setelah dilakukan penambahan fins pada tiap derajatnya namun pada sudut 15 derajat mengalami penurunan sebesar 1%. Dapat dilihat pada Gambar 4.29 terlihat kenaikan efisiensi antara non PBCF maupun dengan PBCF dan didapatkan nilai efisiensi PBCF berada diatas non PBCF. Bertambahnya luas permukaan *hub cap* menyebabkan daerah tekanan yang terjadi disekitar *hub cap* mengalami penurunan sesuai dengan perhitungan matematis menggunakan persamaan (4.3) dan (4.4). Selain dikarenakan bertambahnya luas permukaan tekanan, bertambahnya luasan permukaan *hub cap* seiring dengan bertambahnya sudut kemiringan menyebabkan luas daerah jangkauan PBCF berkurang dengan bertambahnya luasan *hub cap*.



Gambar 4. 29 Grafik Perbandingan Divergent Cap non PBCF dan PBCF

Pada kasus divergen *cap* walaupun hasil yang diberikan pada jenis *cap* ini memberikan penurunan performa pada baling - baling namun PBCF masih dapat memberikan peningkatan efisiensi diatas non PBCF tepat seperti yang dikatakan Ouichi dkk, (1988) Bahwa PBCF dapat menambahkan perbaikan pada performa baling - baling, namun pada 15 derajat mengalami penurunan performa dibandingkan tanpa adanya PBCF hal ini disebabkan karena bentuk *cap* yang terus membesar dapat mempengaruhi performa seperti yang dikatakan Alter (1999) bentuk *cone* atau *cap* benar – benar berpengaruh pada performa baling - baling secara keseluruhan.

Dan berikut bentuk tekanan axial yang terjadi pada putaran disekitar baling – baling untuk mendeteksi terjadi tekanan negatif yang dapat menimbulkan gelembung kavitasi sehingga menyebabkan *hub vortex*. Dapat dilihat pada Gambar 4.30 untuk derajat kemiringan 5 derajat.

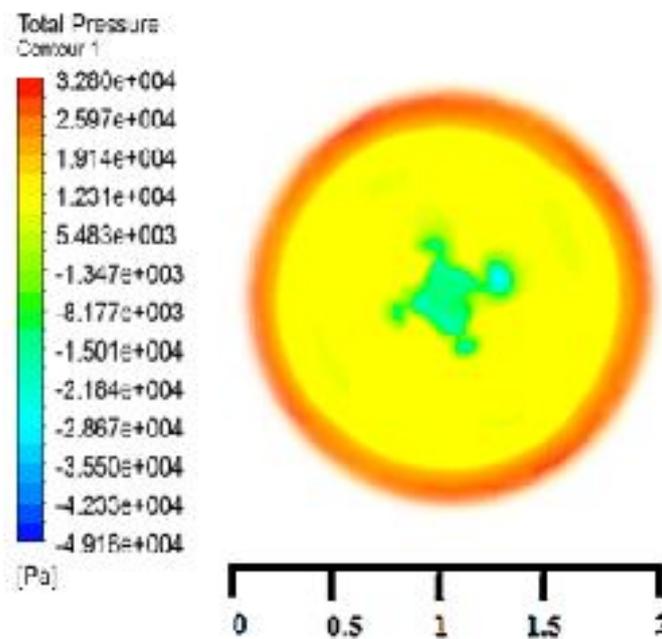


Gambar 4. 30 Tekanan axial pada hub cap divergen dengan kemirngan 5 derajat

setelah pemasangan PBCF

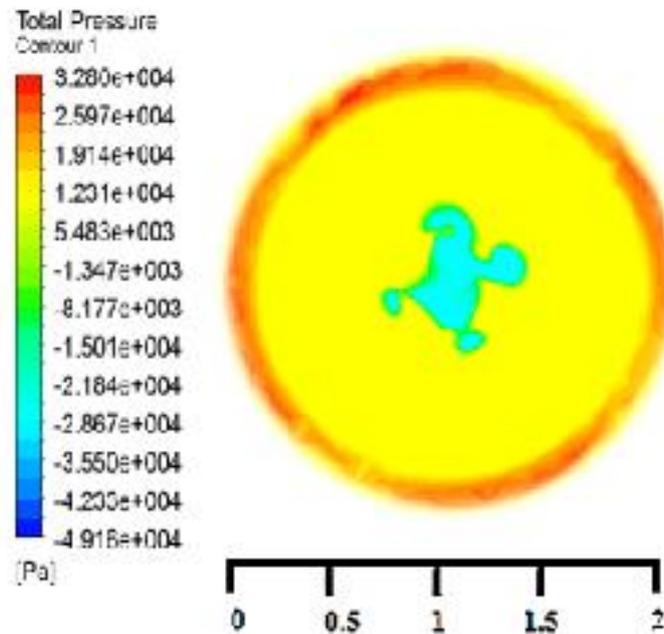
Gambar 4.30 merupakan visualisasi tekanan yang terjadi pada baling – baling divergen *cap* dengan sudut kemiringan 5 derajat ketika mengalami perputaran sehingga menghasilkan tekanan disekeliling

alirannya. Terlihat aliran ditengah lingkaran merupakan daerah *hub cap* baling - baling. Terlihat tekanan tidak terpusat dan terkumpul pada daerah *hub cap* namun berpindah pada keempat sisi *fins* namun dari warna kontur mengindikasikan nilai tekanan yang berada dibawah rata – rata tekanan negatif. Setelah dilakukan perhitungan dengan perangkat CFD pada daerah *hub cap* mengalami tekanan negatif dengan nilai yang tinggi yaitu -21,84 kPa sehingga aliran yang terjadi pada daerah tersebut dapat diindikasikan terjadi penurunan tekanan yang berlebih yang dapat menyebabkan fenomena *hub vortex*. Hal inilah yang menyebabkan nilai koefisien *thrust* mengalami penurunan sedangkan koefisien torsi mengalami kenaikan sesuai dengan persamaan (4.4) ketika gaya dorong mengalami penurunan maka nilai RPM mengalami penurunan sehingga nilai torsi akan mengalami peningkatan. Apabila dibandingkan dengan penggunaan jenis *cap* konvergen, performa dari divergen *cap* berada dibawah konvergen *cap*. Hal ini terjadi juga pada sudut kemiringan boss *cap* 10 derajat dan 15 derajat. Dapat dilihat pada Gambar 4.24 dan 4.25.



Gambar 4. 31 Tekanan axial pada hub cap divergen dengan kemiringan 10 derajat
setelah pemasangan PBCF

Pada Gambar 4.31 merupakan visualisasi tekanan yang terjadi pada baling – baling divergen cap dengan sudut kemiringan 10 derajat ketika mengalami perputaran sehingga menghasilkan tekanan disekeliling alirannya. Terlihat aliran merah yaitu dimana posisi fin berada semakin memudar berubah beralih ke warna kuning sedangkan tekanan negatif pada daerah tengah yang awalnya pada Gambar 4.29 masih berjumlah sedikit pada Gambar 4.30 warna berubah semakin dominan berwarna biru yang menandakan distribusi tekanan pada *hub cap* semakin mengalami penurunan hingga tekanan -21,84 kPa. Fenomena pada Gambar 4.30 dimana tekanan yang dihasilkan fins pada PBCF semakin memudar dikarenakan luasan dari *fins* berkurang dikarenakan penambahan luasan pada daerah *hub cap* divergen sehingga tekanan negatif yang seharusnya terurai oleh *fins* berkurang digantikan dengan penurunan tekanan yang merata disekitar *hub cap*.

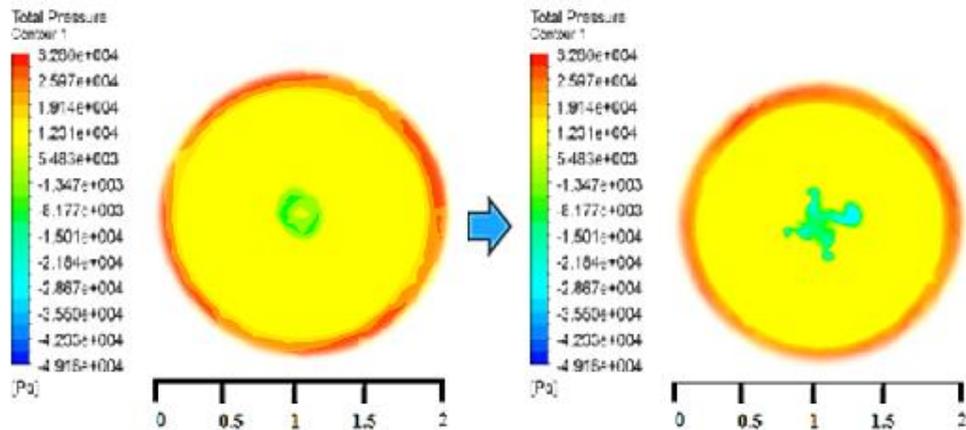


Gambar 4. 32 Tekanan axial pada hub cap divergen dengan kemiringan 15 derajat setelah pemasangan PBCF

Dari Gambar 4.32 merupakan visualisasi tekanan yang terjadi pada baling – baling divergen cap dengan sudut kemiringan 10 derajat ketika mengalami perputaran sehingga menghasilkan tekanan disekeliling

alirannya. Tekanan negatif yang ditandai dengan kontur berwarna biru muda semakin merata di daerah *hub cap* sedangkan efek dari *fins* yang ditandai dengan kontur berwarna merah kekuningan mulai menghilang dibandingkan dengan Gambar 4.31. Dari kontur diatas dilakukan perhitungan tekanan pada perangkan CFD didapatkan tekanan negatif makin bertambah parah dan semakin meluas pada daerah *hub cap* dengan nilai tekanan sebesar -28,67 kPa. Menurut Ghassemi dkk, (2012) dan Seo dkk (2016) ketika terjadi penurunan tekanan secara drastis pada satu bagian baling - baling dan tekanan negatif tersebut terakumulasi pada satu bagian maka bisa diindikasikan pada daerah tersebut terjadi gelembung kavitasi yang menyebabkan timbulnya *hub vortex*. Hal inilah yang menyebabkan penurunan *thrust* dan torsi baling - baling sehingga mengakibatkan efisiensi menurun seiring bertambahnya sudut kemiringan *hub cap*. Menurut Lim dkk (2014) mengapa penambahan PBCF pada divergent cap tidak dapat menambahkan efisiensi dikarenakan terjadinya *hub vortex* pada bagian belakang *hub cap* dan tidak dapat dihilangkan oleh PBCF dikarenakan bentuk geometri dari cap tersebut yang tak bisa sepenuhnya terjangkau oleh PBCF.

Namun apabila dibandingkan dengan divergen *cap* tanpa penambahan PBCF efisiensi bertambah pada beberapa variasi kemiringan *hub cap*. Hal ini dikarenakan distribusi tekanan negatif dapat dipecah dengan adanya penambahan *fins* pada cap tersebut. Dapat dilihat pada Gambar 4.33 perbandingan sebelum dan sesudah ditambahkan fins pada *hub cap*.

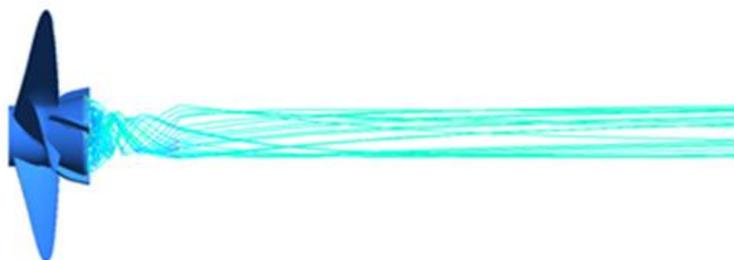


Gambar 4. 33 Perbandingan tekanan axial pada kemiringan hub cap 5 derajat tipe divergen

Dengan penambahan PBCF dapat mengurai *negative pressure* yang terpusat pada *hub cap* (Oichi dkk, 1988) dapat dilihat pada Gambar 4.34 *negative pressure* terurai menjadi berbentuk cross tidak terpusat melingkar pada *hub cap*. Hal ini terjadi karena *pressure* terdistribusi karena putaran tambahan yang dihasilkan oleh penambahan *fins* pada *hub cap*.



(a) Non PBCF pada tipe divergen cap



(b) PBCF pada tipe divergen cap

Gambar 4. 34 Perbandingan Aliran pada 15 derajat Divergent Cap PBCF

Seperti yang telah dijelaskan pada Gambar 4.33 bahwa tekanan negatif yang terjadi pada daerah *hub cap* makin pekat dengan adanya penambahan PBCF divisualkan pada Gambar 4.34. Terlihat yang pada Gambar 4.34 (a) terjadi pemusatan konsentrasi aliran pada depan *hub cap* setelah dilakukan penambahan PBCF pada Gambar 4.34 (b) konsentrasi aliran yang terjadi makin bertambah pekat. Hal ini yang menjelaskan mengapa terjadinya penurunan performa yang drastis pada kemiringan 15 derajat. Dalam penelitiannya Seo dkk (2014) menjelaskan setelah dilakukan tes pada *towing tank* ternyata terindikasi *hub vortex* pada divergen hal inilah yang menyebabkan penurunan performa baling - baling. Terjadinya penurunan tekanan yang sering kali menyebabkan fenomena kavitasi disebabkan oleh seringnya terjadi gesekan fluida dengan benda yang menyebabkan terjadinya turbulensi aliran (Wilkes, 2006) pada kasus ini terjadinya gesekan yang terjadi pada bagian sisi belakang *hub cap* divergen menyebabkan terjadinya turbulensi aliran. Turbulensi aliran ini mengakibatkan penurunan tekanan yang menghasilkan terjadinya gelembung - gelembung kavitasi (Shin dan Andersen, 2010) dari gelembung kavitasi yang diputar oleh *hub cap* mengakibatkan terjadinya *hub vortex*. Untuk keseluruhan bentuk streamline dan kontur aliran dapat dilihat pada lampiran 2, yaitu keseluruhan bentuk aliran *streamline* dan kontur aliran pada 0^0 hingga 15^0 . Dengan menghilangnya *vortex* akibat penambahan PBCF maka kebisingan dan getaran yang terjadi disekitar sistem propulsi dapat tereduksi sesuai yang dikatakan oleh Cheng dan Hao- Peng (2014). Untuk *wake friction* dan beberapa simulasi aliran dapat dilihat pada Lampiran 2.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa yang telah dilakukan pada Studi Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan Hub Cap Terhadap Efisiensi Baling – Baling Kapal Pada Pemasangan Propeller Boss Cap Fins (PBCF) Terhadap Efisiensi Baling – Baling didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari kedua tipe *hub cap* yang telah dianalisa yaitu divergen dan konvergen memiliki karakteristik yang berbeda. Setelah dilakukan analisa dan simulasi, konvergen cap dapat menambahkan efisiensi sedangkan divergen cap sebaliknya yaitu menurunkan efisiensi. Bertambahnya sudut kemiringan pada konvergen cap memberikan tambahan efisiensi dibuktikan dengan berkurangnya tekanan negatif disekitar hub geometri yang mengindikasikan terjadinya *vortex*, sedangkan divergen cap mengalami hal sebaliknya dimana didapatkan penurunan efisiensi dengan semakin bertambahnya sudut kemiringan dibuktikan dengan bertambahnya tekanan negatif disekitar hub geometri.
2. Setelah dilakukan analisa dan simulasi, pada konvensional cap yang dimodifikasi menjadi PBCF. Konvergen PBCF dapat menambahkan efisiensi sedangkan divergen PBCF sebaliknya yaitu menurunkan efisiensi. Bertambahnya sudut kemiringan pada konvergen cap memberikan tambahan efisiensi dibuktikan dengan berkurangnya tekanan negatif disekitar hub geometri yang mengindikasikan terjadinya *vortex*, sedangkan divergen cap mengalami hal sebaliknya dimana didapatkan penurunan efisiensi dengan semakin bertambahnya sudut kemiringan dibuktikan dengan bertambahnya tekanan negatif disekitar hub geometri.
3. Penambahan *Propeller Boss Cap Fins* (PBCF) dapat menghasilkan perbaikan pada bentuk aliran dan tekanan yang terjadi didaerah *hub cap* baling – baling. Hal ini dapat meminimalisasi terjadi fenomena

hub vortex dan meningkatkan efisiensi dari baling - baling. Namun tidak disemua kasus pemasangan PBCF dapat memberikan perbaikan terhadap efisiensi dari baling – baling kapal. Hal ini dipengaruhi oleh bentuk dari *geometri hub cap* yang digunakan pada PBCF.

5.2 Saran

Dari penelitian kali ini masih perlunya banyak lagi pengembangan mengenai topik *Propeller Boss Cap Fins*. Dari bentuk geometri *hub cap* masih perlu dilakukan penelitian lanjutan sehingga diketahui, bentuk *hub cap* yang perlu dihindari dalam mendesain PBCF sehingga tidak terjadi penurunan efisiensi ketika pemasangan PBCF pada baling – baling kapal.

DAFTAR PUSTAKA

- Cheng, M., and Hao- Peng, C.; The design of propeller and propeller boss cap fins (PBCF) by an integrative method. *Journal of Hydrodynamic* 2014,26(4):586-593, 2014,China.
- Dang J., Chen H., and Dong G., An Exploratory Study on the Working Principle of Energy Saving Devices (ESD), *Symposium on Green Ship Technology Greenship*, 2011, China.
- Druckenbrod.M, K. Wang, L. Greitsch, H.-J. Heinke, Abdel-Maksoud M., Development of Hub Cap Fitted With PBCF. *Fourth International Symposium on Marine Propulsors smp '15*, 2015, USA.
- Ghassemi H., Mardan A., and Ardeshir A., Numerical Analysis of Hub Effect On Hydrodynamic Performance of Propellers with Inclusion of PBCF to Equalize the Induced Velocity, *Journal of Polish Maritime Research 2 (73)* Vol 19, 2012, pp 17 – 24.
- Hansen H. R., Dinham-Peren T., and Nojiri T., Model and Full Scale Evaluation of a 'Propeller Boss Cap Fins' Device Fitted to An Aframax Tanker, *Second International Symposium on Marine Propulsors*, 2011, Germany.
- Seo J., Lee S. J., Han B., and Rhee S. H., Influence Design Parameter Variation for Propeller-Boss-Cap-Fins on Hub Vortex Reduction. *Journal of Ship Research*, Vol. 60, No. 4, December 2016, pp. 203–218
- Katayama K., Okada Y., and Okazaki A., Optimization of the Propeller with ECO-cap by CFD. *Fourth International Symposium on Marine Propulsors smp '15*,(2015) USA.
- Kawamura T., Ouchi K., and Takeuchi S.,; Model and Full Scale CFD Analysis of Propeller Boss Cap Fins (PBCF), *Third International Symposium on Marine Propulsors smp '13*, 2013, Australia.
- Lim, S.S., Kim, T.W., Lee, D.M., Kang, C.G., and Kim, S.Y., (2014) ; Parametric Study of Propeller Boss Cap Fins for Container Ships. *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.* 6:187~205.
- Hsin C.Y., Lin B.H., and Lin C.C,The Optimum Design of a Propeller Energy-Saving Device by Computational Fluid Dynamics, *Computational Fluid Dynamics* pp 655-660 , 2008, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Mizzi K., Demirel Y. K., Banks C., Turan O., Kaklis P., and Atlar M., Design Optimisation of Propeller Boss Cap Fins for Enhanced Propeller Performance. *Applied Ocean Research* 62 , 2017, pp 210–222.

- Nojiri T., Ishii N., and Kai H., Energy Saving Technology of PBCF (Propeller Boss Cap Fins) and Its Evolution, *Journal of the JIME*, Vol. 46, No.3, 2011, pp. 350-358.
- Prakash S., and Nath D.R., A Computational Method for Determination of Open Water Performance of a Marine Propeller, *International Journal of Computer Applications*, 2012, Volume 58– No.12.
- Seo, H.S. ,Paik, B.G. , Kim, K.Y, *Combined Propeller Cap For Reducing Rotation Flow And Hub Vortex And Enhancing Propulsion Efficiency* , European Patent Office
- Gaafary M.M., Computerized Method for Propeller Design of Optimum Diameter and RPM , *13 Congress of Intl. Maritime Assoc. of Mediterranea IMAM 2009*, istanbul, Turkey, 12-15 Oct.2009
- Wendt J.F., *Computational Fluid Dynamics: An Introduction*, Springer –Verlag, Berlin. 1992
- Chamanara M., Ghasemmi H., Hydrodynamic Characteristics of the Kort – Nozzle Propeller by Different Turbulent Models, *American Journal of Mechanical Engineering*, 2016, Vol. 4, No. 5, 169-172
- Almohammadi K.M., Ingham D.B., Ma L., Pourkashan M., Computational fluid dynamics (CFD) mesh independency techniques for a straight blade vertical axis wind turbine, *Journal of Energy* 58 (2013), pp 483 – 493
- Ouchi K., Ogura M., Kono Y., Orito H., Shiotsu T., Tamashima M., and Koizuka H., A Research and Development of PBCF (Propeller Boss Cap Fins) - Improvement of Flow from Propeller Boss, *Journal of the Society of Naval Architects of Japan*, 1998, 163, pp.66-78.
- Ouichi K., and Tamashima M., Research and Development on PBCF (Propeller Boss Cap Fins), *Technical Paper for PBCF presented at PRADS' 89*, October, 1989, BULGARIA.
- McCormick, B.W., *Aerodynamics, Aeronautics, and Flight Mechanics*, Wiley, Second Edition, 1995.
- Islam M.F., Veitch B., Bose N., and Liu P., (2006), Numerical Study of Effects of Hub Taper Angle on the Performance of Propellers Designed for Podded Propulsion Systems, *Marine technology*, January 2006
- Ota, T., Aiba, S., Tsuruta, T., and Kaga, M., (1983) Forced Convection Heat Transfer from an Elliptic Cylinder, *Bulletin of the Japan Society of Mechanical Engineers*, Vol. 26, No. 212, pp. 262–267.

- Alter M., Final Report and Recommendations to the 22nd ITTC, *The Specialist Committee on Unconventional Propulsors*, 1999.
- Shin K.W., and Andersen P., *Cavitation simulation on marine propellers*, Master Thesis, 2010, Technical University of Denmark, Denmark.
- Wilkes, J. O., Fluid Mechanics for Chemical Engineers, 2nd edition, Prentice Hall, 2006.
- Terwisga T., Fitzsimmons P., Ziru L., and Foeth E. J., Cavitation Erosion – A review of physical mechanisms and erosion risk models, *Proceedings of the 7th International Symposium on Cavitation* – Paper No. 41, 2009, USA.
- Bernitsas M.M., Ray D., and Kinley P., *$K_T K_Q$ and Efficiency Curve the Wagening B-Series Propellers*, University of Michigan, 1981, USA.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran

Lampiran 1 : Setting CFD

Domain Physics for CFD

Domain - Domain 1	
Type	Fluid
Location	B121
<i>Materials</i>	
Water	
Fluid Definition	Material Library
Morphology	Continuous Fluid
<i>Settings</i>	
Buoyancy Model	Non Buoyant
Domain Motion	Stationary
Reference Pressure	1.0000e+00 [atm]
Turbulence Model	k epsilon
Turbulent Wall Functions	Scalable
Domain - Domain 2	
Type	Fluid
Location	B58
<i>Materials</i>	
Water	
Fluid Definition	Material Library
Morphology	Continuous Fluid
<i>Settings</i>	
Buoyancy Model	Non Buoyant
Domain Motion	Rotating
Angular Velocity	-2.5700e+02 [rev min ⁻¹]
Axis Definition	Coordinate Axis
Rotation Axis	Coord 0.1
Reference Pressure	1.0000e+00 [atm]

Turbulence Model	k epsilon
Turbulent Wall Functions	Scalable
Domain Interface - Domain Interface 1	
Boundary List1	Domain Interface 1 Side 1
Boundary List2	Domain Interface 1 Side 2
Interface Type	Fluid Fluid
<i>Settings</i>	
Interface Models	General Connection
Frame Change	Frozen Rotor
Mass And Momentum	Conservative Interface Flux
Pitch Change	Specified Pitch Angles
Pitch Angle Side1	3.6000e+02 [degree]
Pitch Angle Side2	3.6000e+02 [degree]
Mesh Connection	GGI
Domain Interface - Domain Interface 2	
Boundary List1	Domain Interface 2 Side 1
Boundary List2	Domain Interface 2 Side 2
Interface Type	Fluid Fluid
<i>Settings</i>	
Interface Models	General Connection
Frame Change	Frozen Rotor
Mass And Momentum	Conservative Interface Flux
Pitch Change	Specified Pitch Angles
Pitch Angle Side1	3.6000e+02 [degree]
Pitch Angle Side2	3.6000e+02 [degree]
Mesh Connection	GGI
Domain Interface - Domain Interface 3	
Boundary List1	Default Fluid Fluid Interface Side 2
Boundary List2	Default Fluid Fluid Interface Side 1
Interface Type	Fluid Fluid

<i>Settings</i>	
Interface Models	General Connection
Frame Change	Frozen Rotor
Mass And Momentum	Conservative Interface Flux
Pitch Change	Specified Pitch Angles
Pitch Angle Side1	3.6000e+02 [degree]
Pitch Angle Side2	3.6000e+02 [degree]
Mesh Connection	GGI

Boundary Physics for CFD

Domain	Boundaries	
Domain 1	Boundary - inlet	
	Type	INLET
	Location	inlet
	<i>Settings</i>	
	Flow Regime	Subsonic
	Mass And Momentum	Normal Speed
	Normal Speed	9.4800e+00 [knot]
	Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio
	Boundary - Default Fluid Fluid Interface Side 1	
	Type	INTERFACE
	Location	F126.121
	<i>Settings</i>	
	Mass And Momentum	Conservative Interface Flux
	Turbulence	Conservative Interface Flux
	Boundary - Domain Interface 1 Side 2	
	Type	INTERFACE
	Location	F125.121
	<i>Settings</i>	
	Mass And Momentum	Conservative Interface Flux

	Turbulence	Conservative Interface Flux
	Boundary - Domain Interface 2 Side 2	
	Type	INTERFACE
	Location	F127.121
	<i>Settings</i>	
	Mass And Momentum	Conservative Interface Flux
	Turbulence	Conservative Interface Flux
	Boundary - outlet	
	Type	OUTLET
	Location	outlet
	<i>Settings</i>	
	Flow Regime	Subsonic
	Mass And Momentum	Average Static Pressure
	Pressure Profile Blend	5.0000e-02
	Relative Pressure	0.0000e+00 [Pa]
	Pressure Averaging	Average Over Whole Outlet
	Boundary - wall	
	Type	WALL
	Location	wall
	<i>Settings</i>	
	Mass And Momentum	Free Slip Wall
Domain 2	Boundary - Default Fluid Fluid Interface Side 2	
	Type	INTERFACE
	Location	F61.58
	<i>Settings</i>	
	Mass And Momentum	Conservative Interface Flux
	Turbulence	Conservative Interface Flux
	Boundary - Domain Interface 1 Side 1	
	Type	INTERFACE
	Location	F60.58

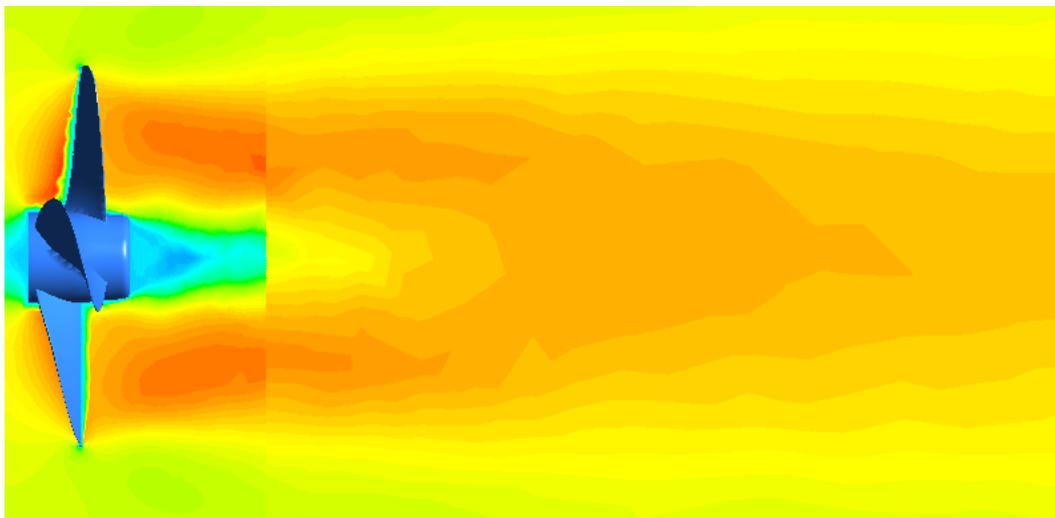
<i>Settings</i>	
Mass And Momentum	Conservative Interface Flux
Turbulence	Conservative Interface Flux
Boundary - Domain Interface 2 Side 1	
Type	INTERFACE
Location	F59.58
<i>Settings</i>	
Mass And Momentum	Conservative Interface Flux
Turbulence	Conservative Interface Flux
Boundary - Propeller	
Type	WALL
Location	propeller
<i>Settings</i>	
Mass And Momentum	No Slip Wall
Wall Roughness	Smooth Wall

Lampiran 2 : Bentuk Aliran dan Kontur Aliran

Dilakukan perhitungan wake pada open water propeller dengan rumus sebagai berikut :

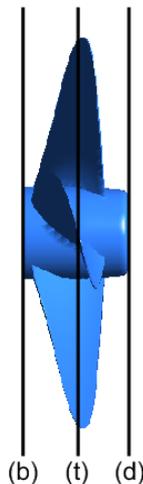
$$V = (1 - w)Va$$

Dimana :
W : Wake Friction
V : Kecepatan Aliran Sebelum di putar oleh propeller
Va : Kecepatan Aliran Sesudah diputar oleh Propeller
Pengambilan V_b dilakukan pada koordinat yang sama yaitu
X : 0,25
Y : 0
Z : 0

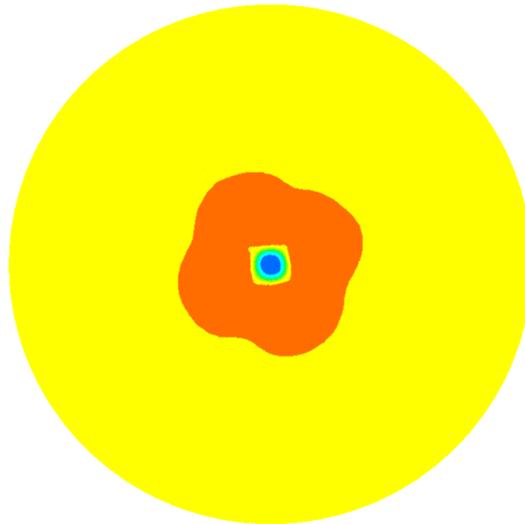
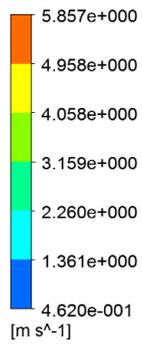


Berikut kontur aliran Konvensional konvergen cap 5 derajat, dengan nilai V_a sebesar 4,8 m/s dan V sebesar 0,32 m/s sehingga didapatkan wake sebesar 0,933.

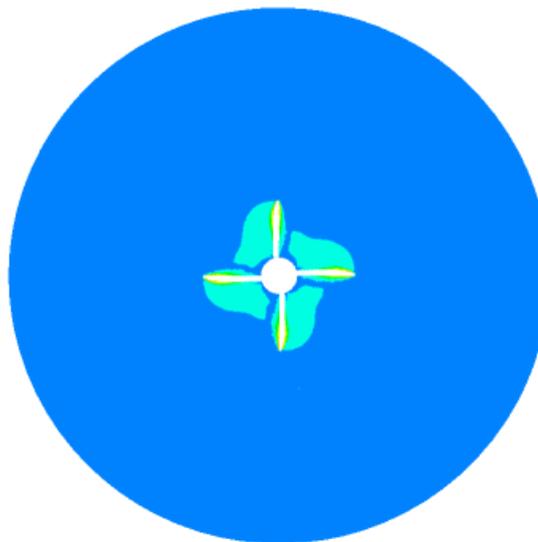
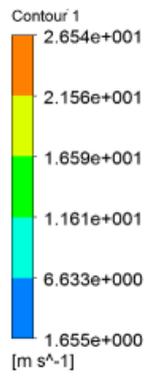
Selanjutnya diberikan tambahan informasi untuk wake friction secara pandangan melintang. Berikut detail posisi pengambilan wake friction pandangan melintang :



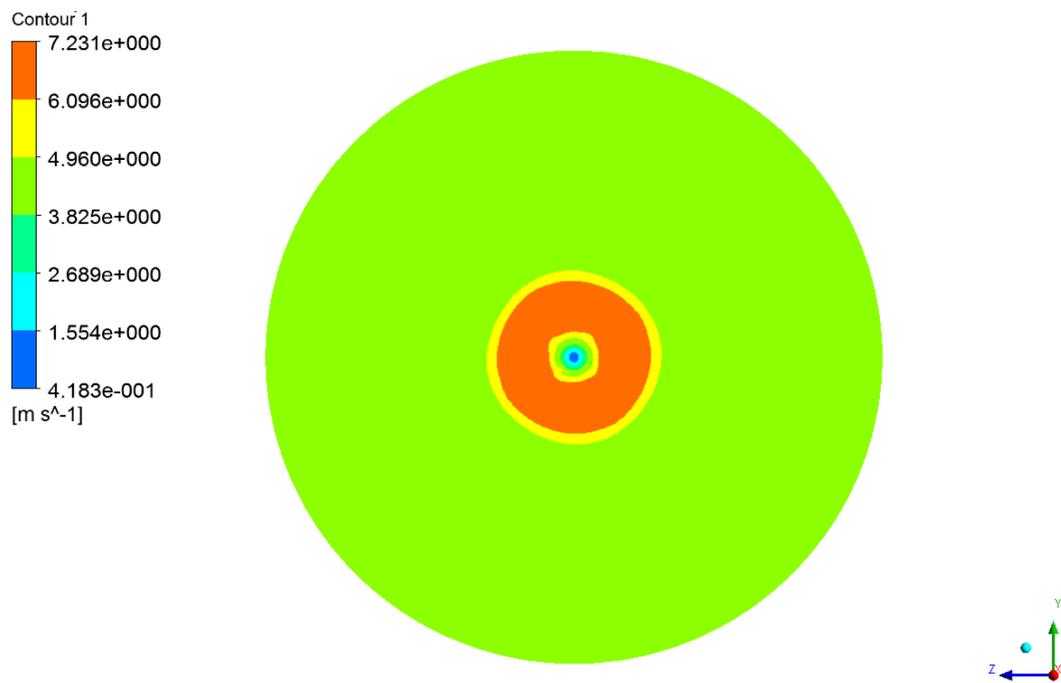
Terbagi menjadi 3 yaitu (b) = belakang , (t) = tengah, (d) = depan.



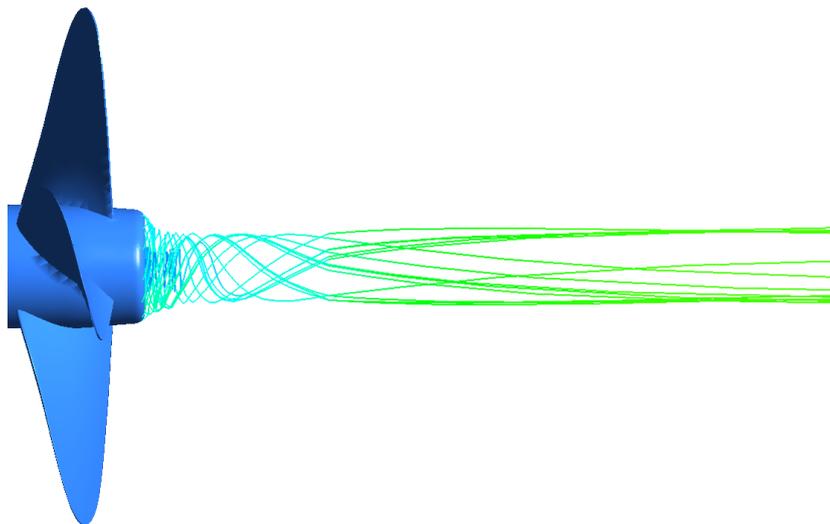
Kontur weak friction posisi belakang baling-baling.



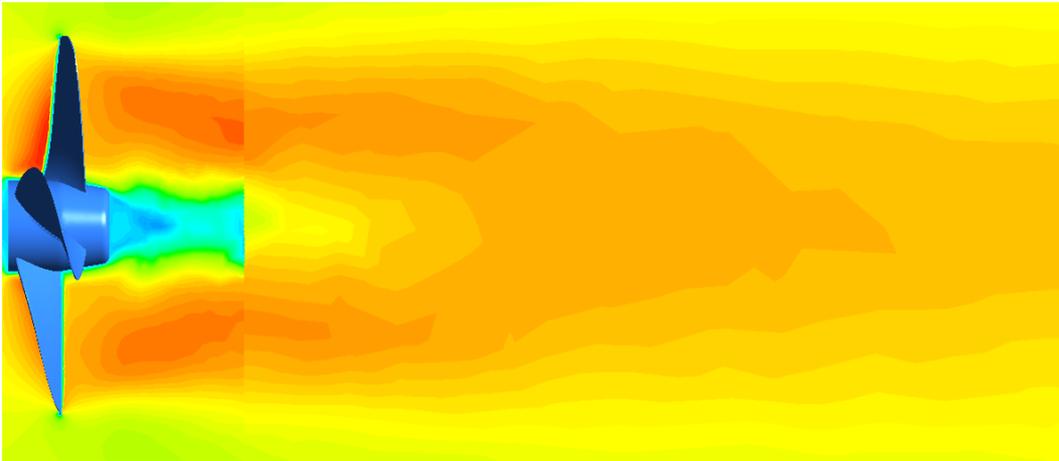
Kontur weak friction posisi tengah baling-baling.



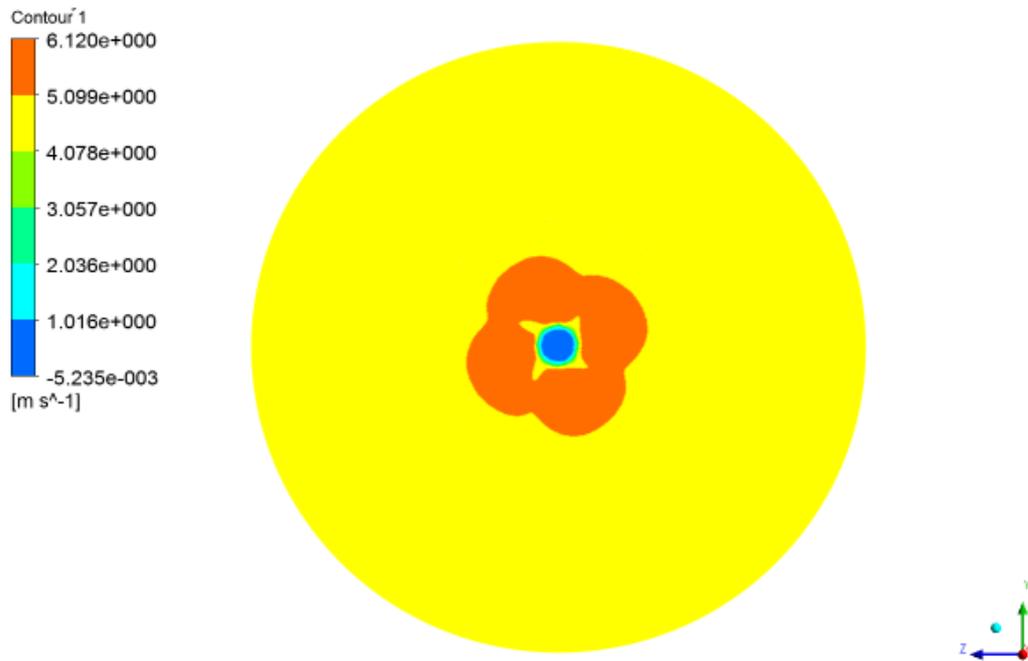
Kontur weak friction posisi depan baling-baling.



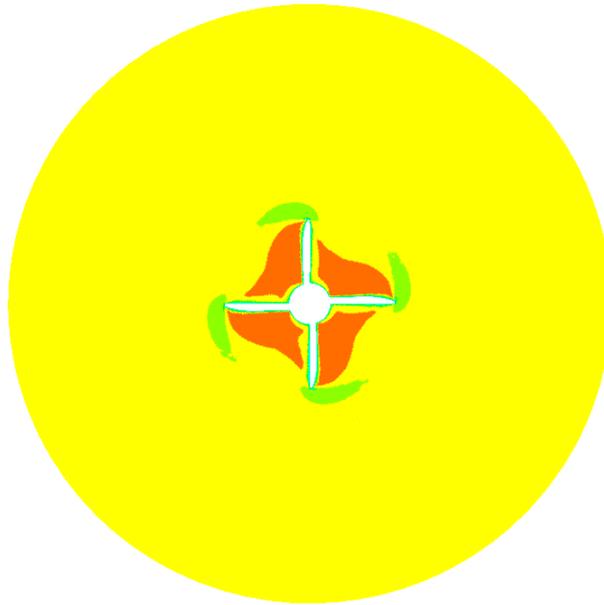
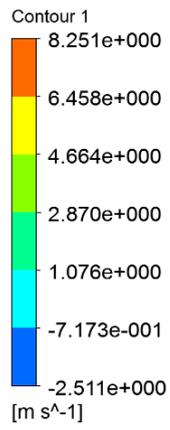
Bentuk aliran Konvensional konvergen cap 5 derajat



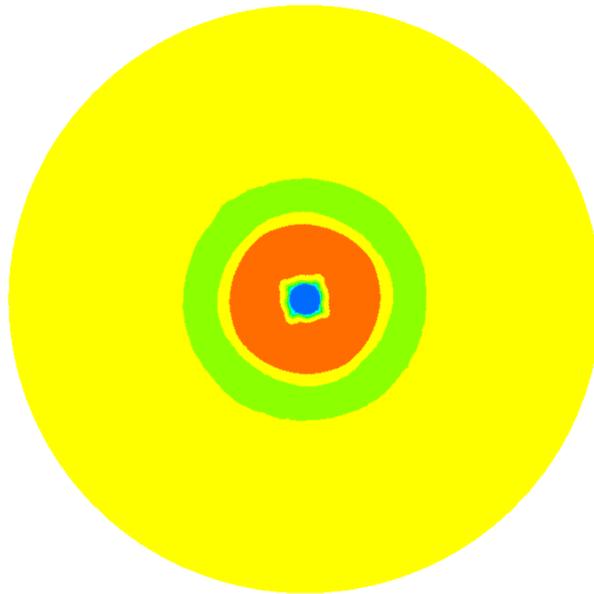
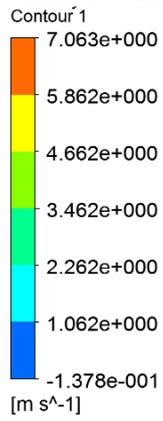
Berikut kontur aliran Konvensional konvergen cap 10 derajat, dengan nilai V_d sebesar 4,8 m/s dan V_b sebesar 0,34 m/s sehingga didapatkan wake sebesar 0,929.



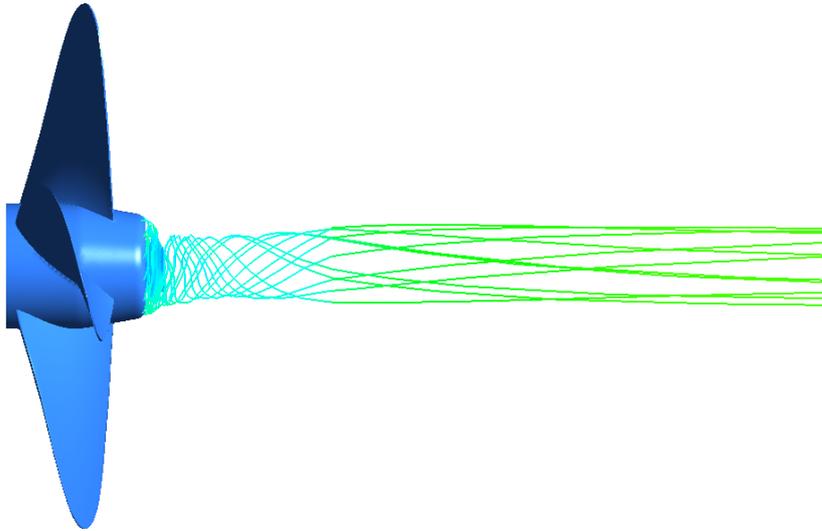
Kontur weak friction posisi belakang baling-baling.



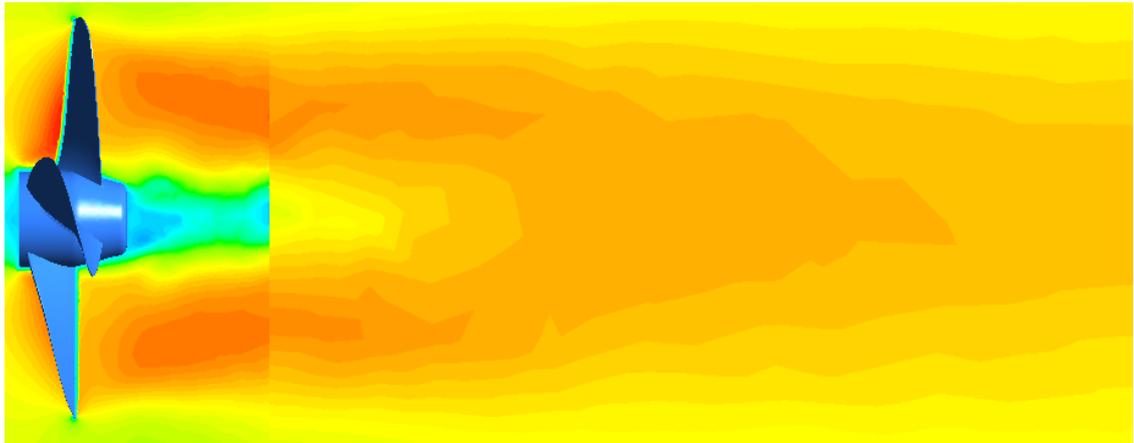
Kontur weak friction posisi tengah baling-baling.



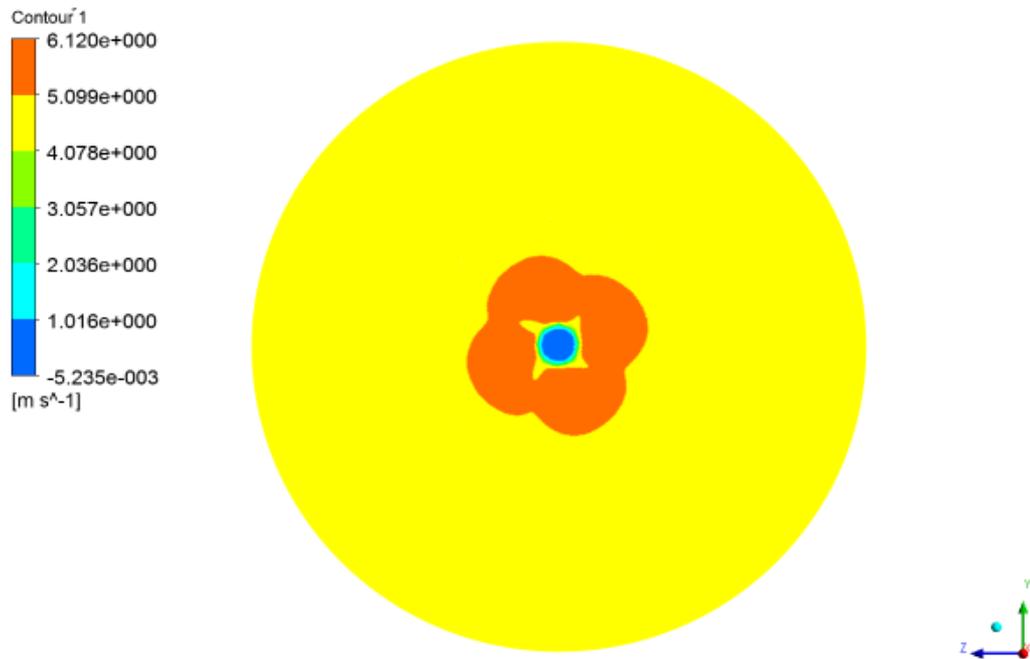
Kontur weak friction posisi depan baling-baling.



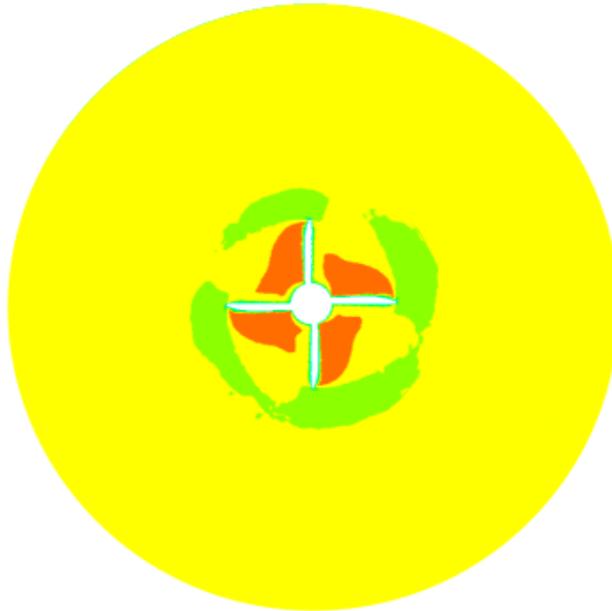
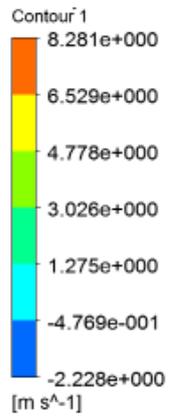
Bentuk aliran Konvensional konvergen cap 10 derajat



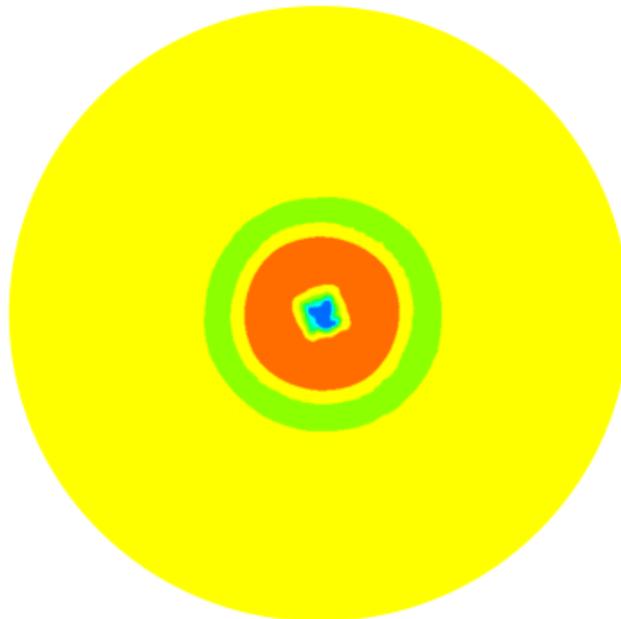
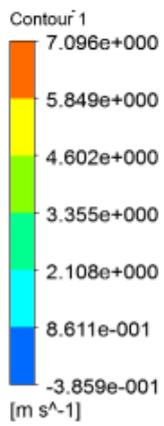
Berikut kontur aliran Konvensional konvergen cap 15 derajat, dengan nilai V_d sebesar 4,8 m/s dan V_b sebesar 0,55 m/s sehingga didapatkan wake sebesar 0,885.



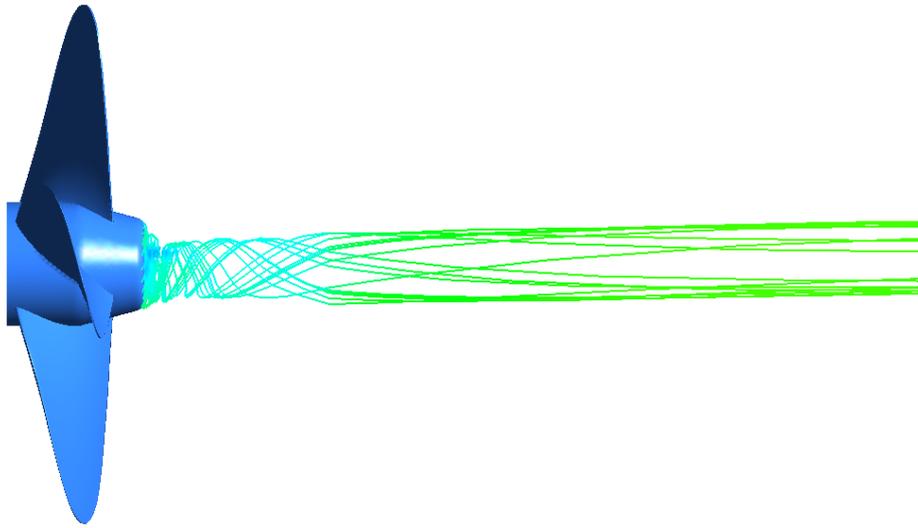
Kontur weak friction posisi belakang baling-baling.



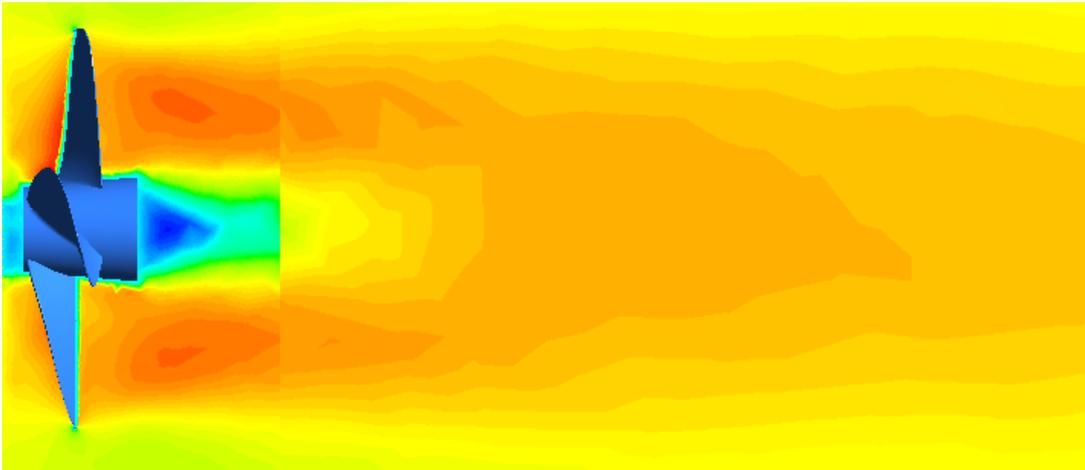
Kontur weak friction posisi tengah baling-baling.



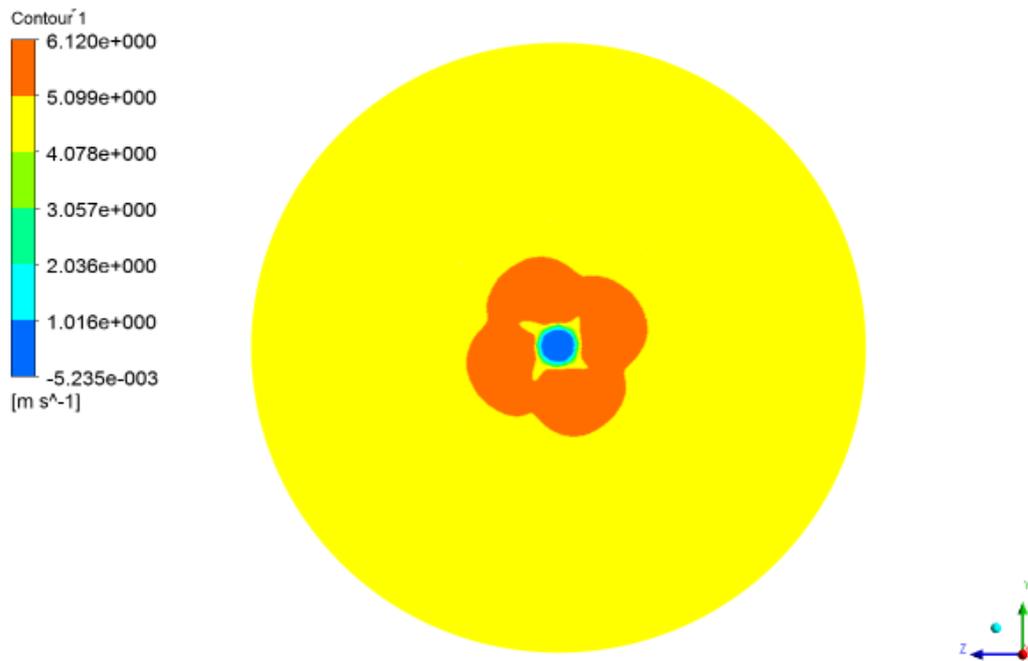
Kontur weak friction posisi depan baling-baling.



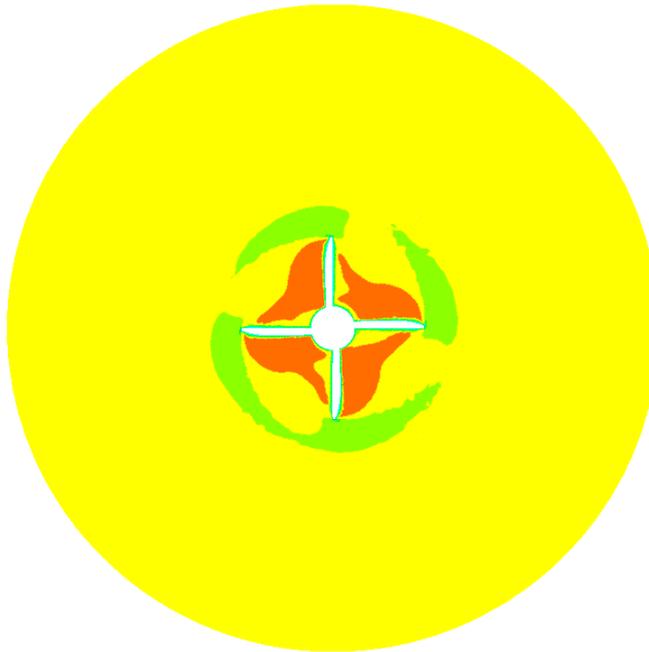
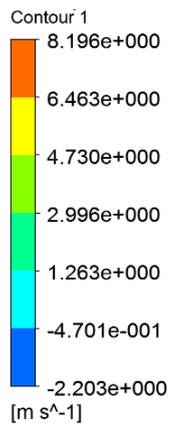
Bentuk aliran Konvensional konvergen cap 15 derajat



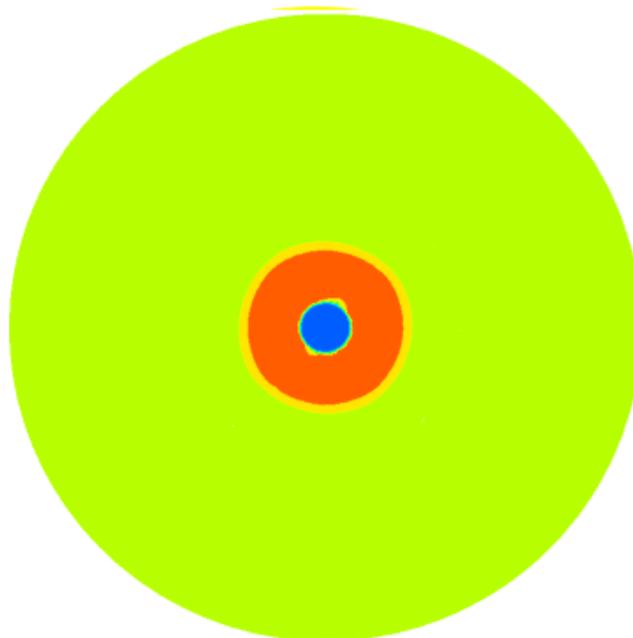
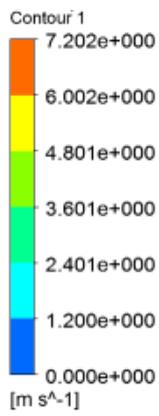
Berikut kontur aliran Konvensional Divergen cap 5 derajat, dengan nilai V_d sebesar 4,8 m/s dan V_b sebesar 0,37 m/s sehingga didapatkan wake sebesar 0,922.



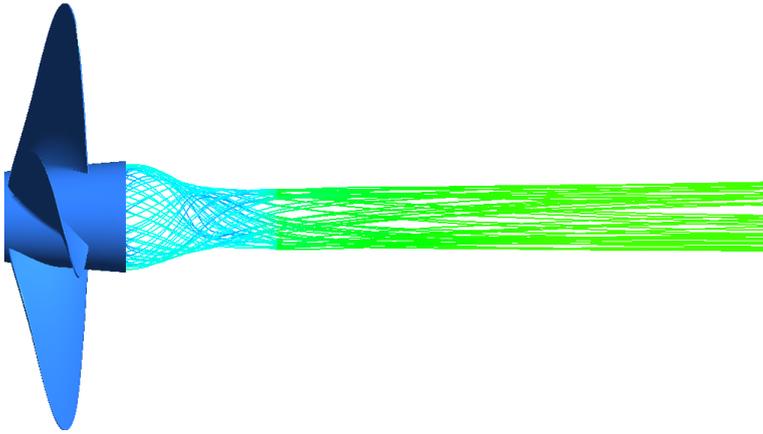
Kontur weak friction posisi belakang baling-baling.



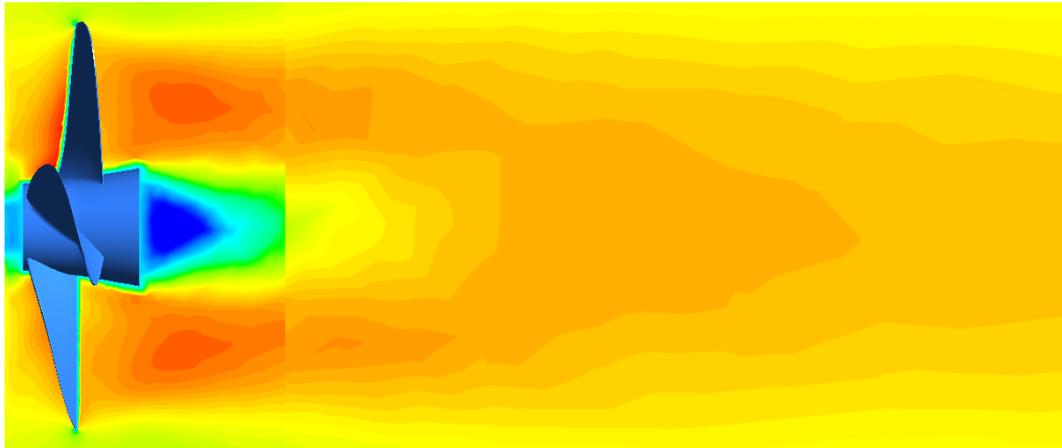
Kontur weak friction posisi tengah baling-baling.



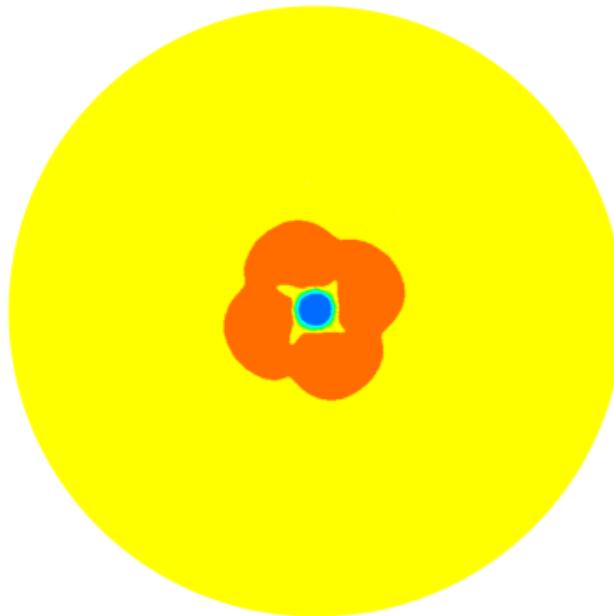
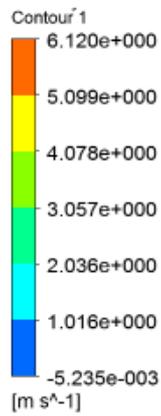
Kontur weak friction posisi depan baling-baling.



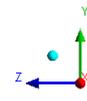
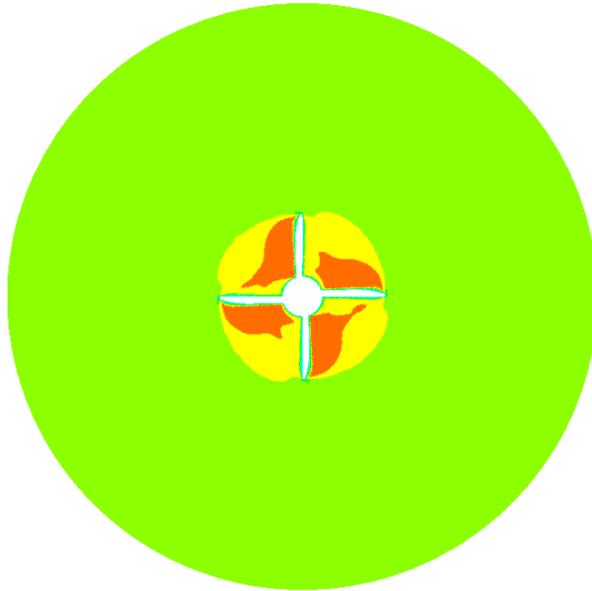
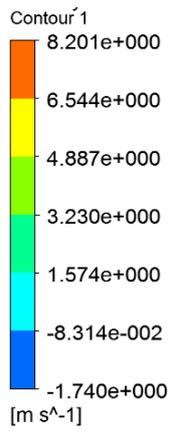
Bentuk aliran Konvensional Divergen cap 5 derajat



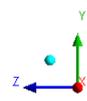
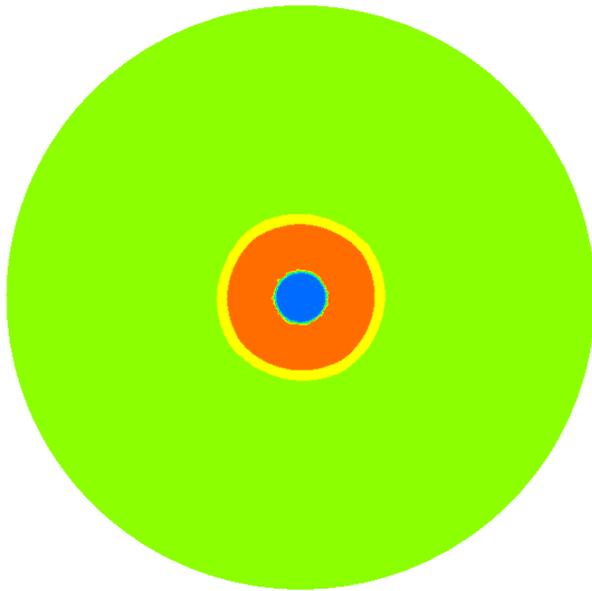
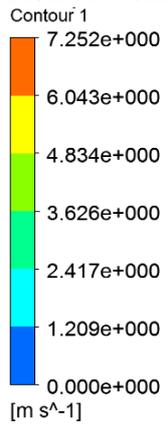
Berikut kontur aliran Konvensional Divergen cap 10 derajat, dengan nilai V_d sebesar 4,8 m/s dan V_b sebesar 0,31 m/s sehingga didapatkan wake sebesar 0,935.



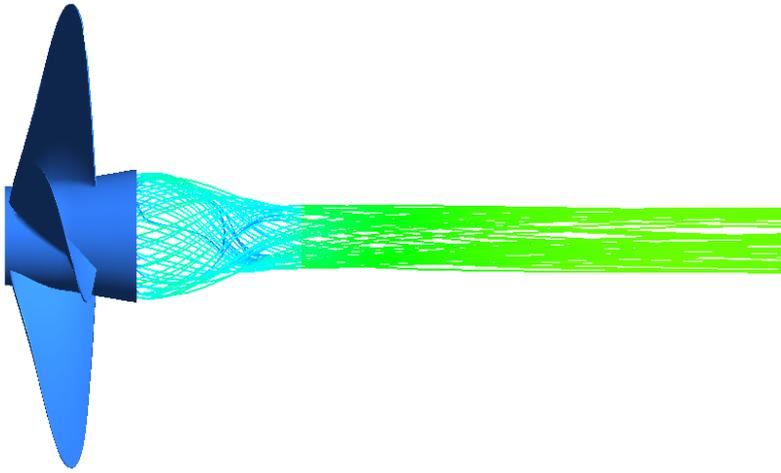
Kontur weak friction posisi belakang baling-baling.



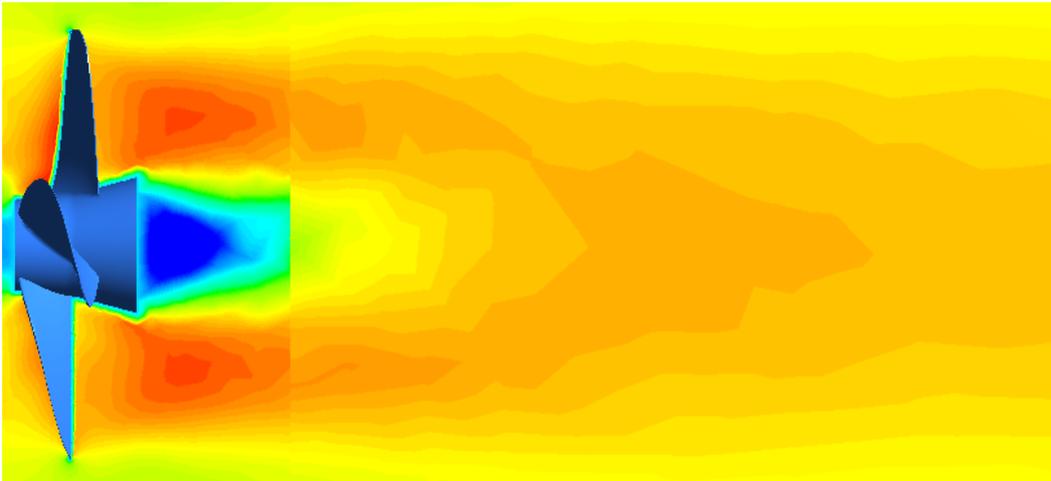
Kontur weak friction posisi tengah baling-baling.



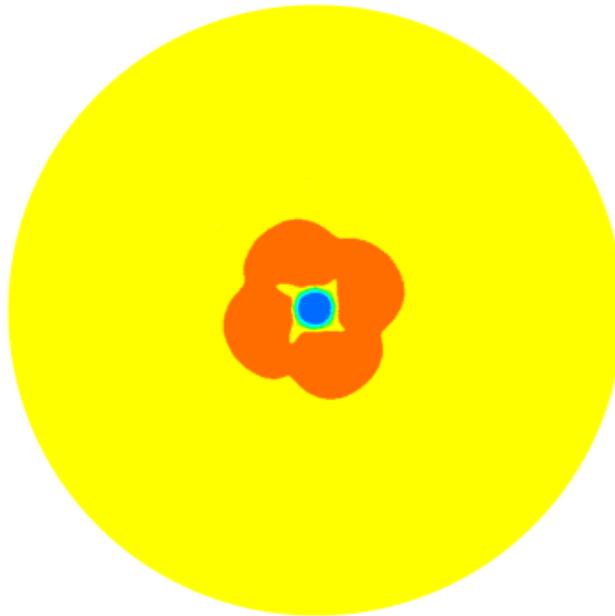
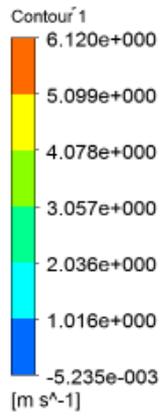
Kontur weak friction posisi depan baling-baling.



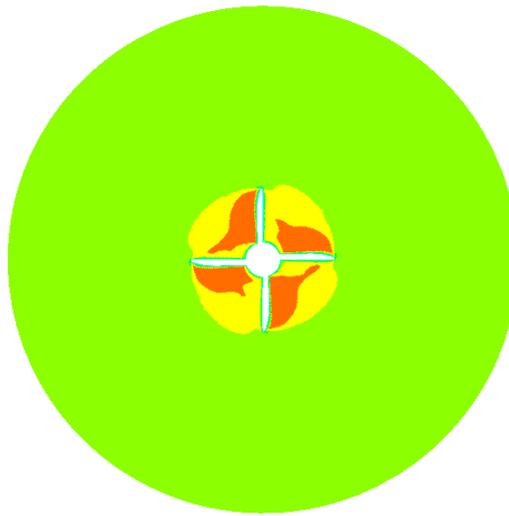
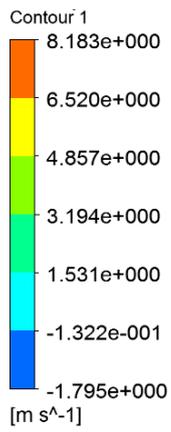
Bentuk aliran Konvensional Divergen cap 10 derajat



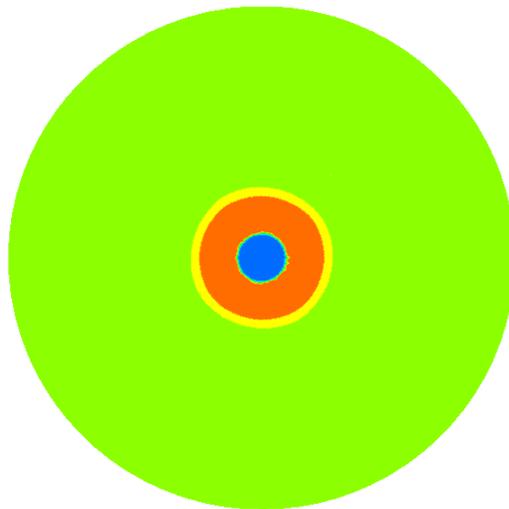
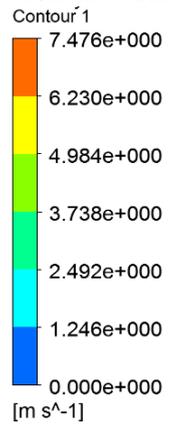
Berikut kontur aliran Konvensional Divergen cap 15 derajat, dengan nilai V_d sebesar 4,8 m/s dan V_b sebesar 0,29 m/s sehingga didapatkan wake sebesar 0,939.



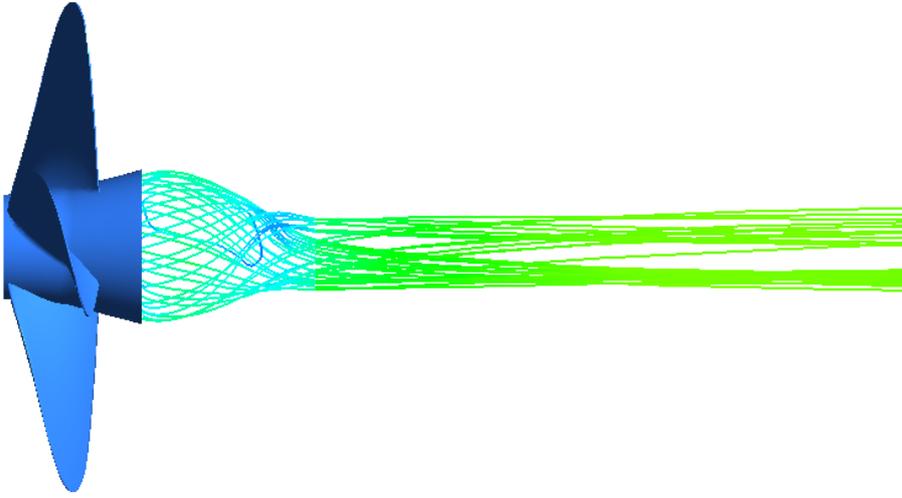
Kontur weak friction posisi belakang baling-baling.



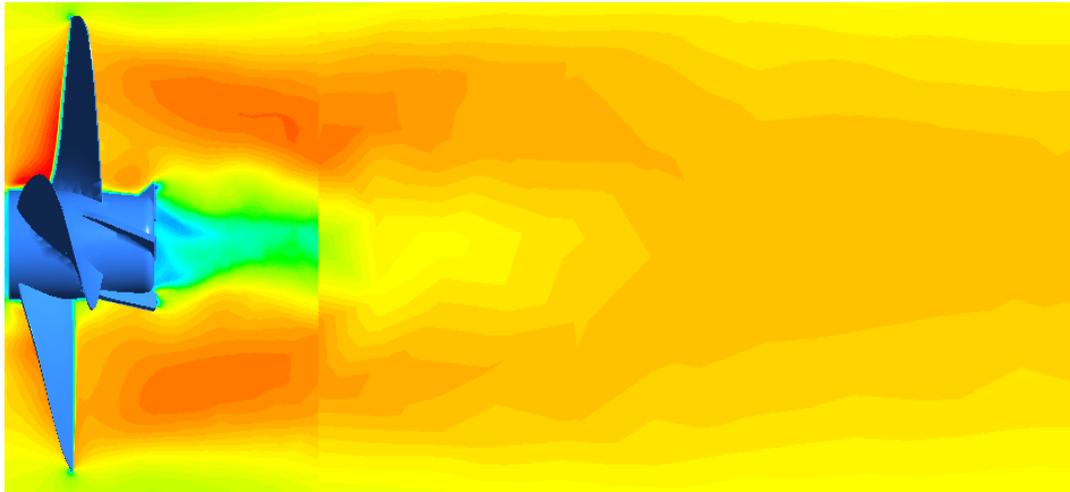
Kontur weak friction posisi tengah baling-baling.



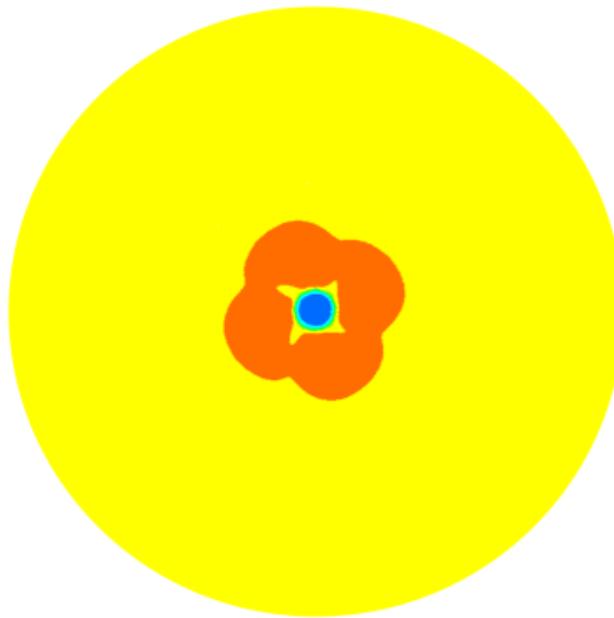
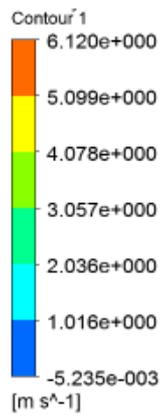
Kontur weak friction posisi depan baling-baling.



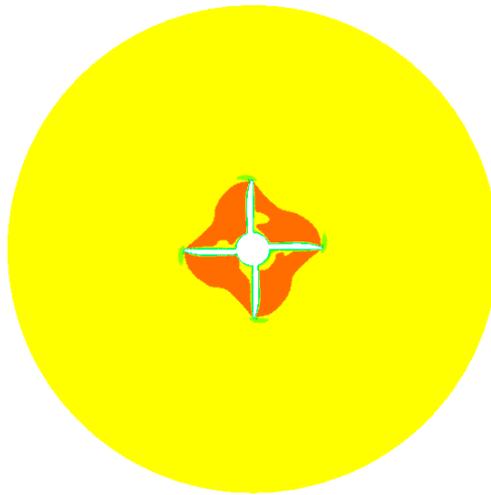
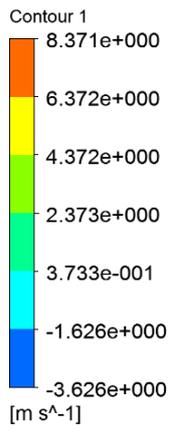
Bentuk aliran Konvensional Divergen cap 15 derajat



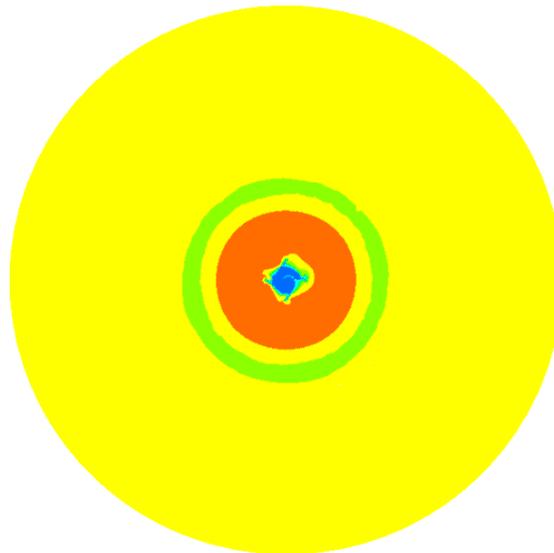
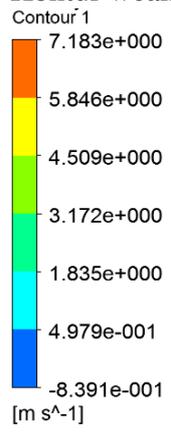
Berikut kontur aliran PBCF Konvergen cap 5 derajat, dengan nilai V_d sebesar 4,8 m/s dan V_b sebesar 2,09 m/s sehingga didapatkan wake sebesar 0,566.



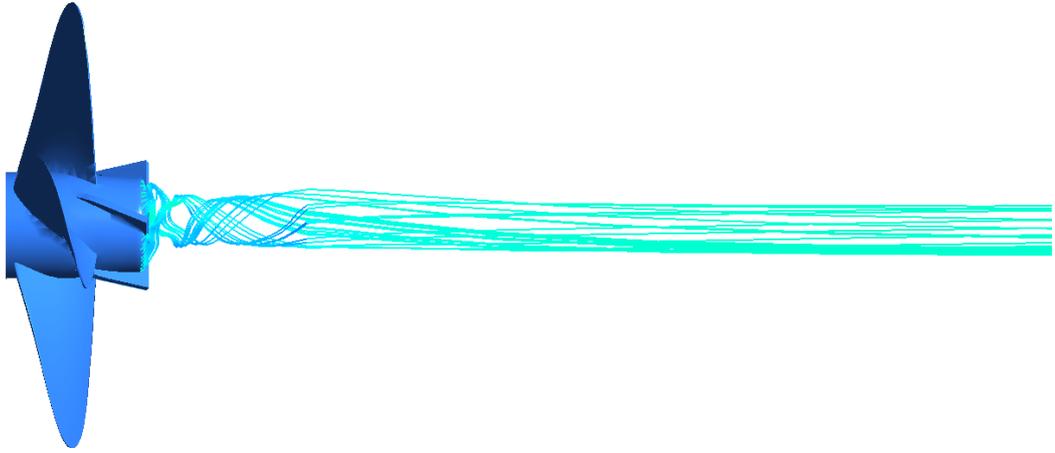
Kontur weak friction posisi belakang baling-baling.



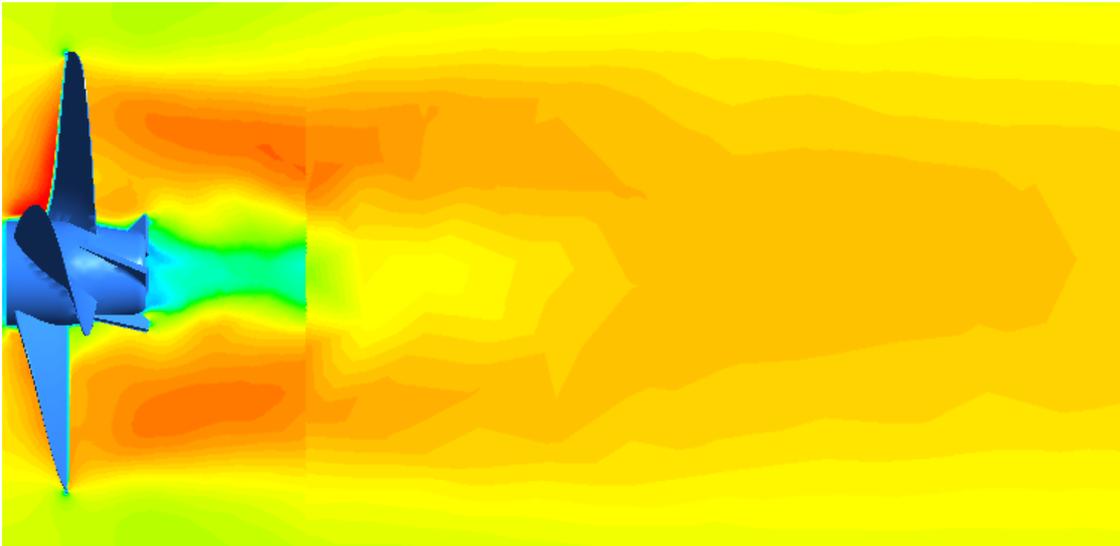
Kontur weak friction posisi tengah baling-baling.



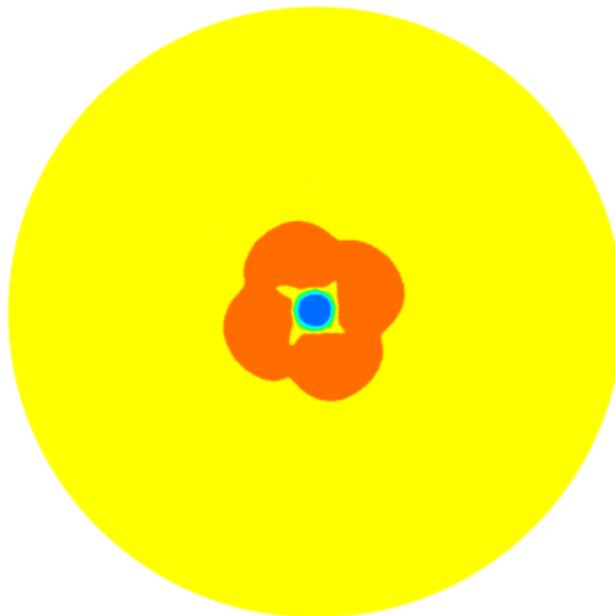
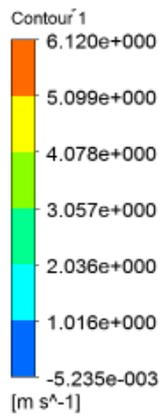
Kontur weak friction posisi depan baling-baling.



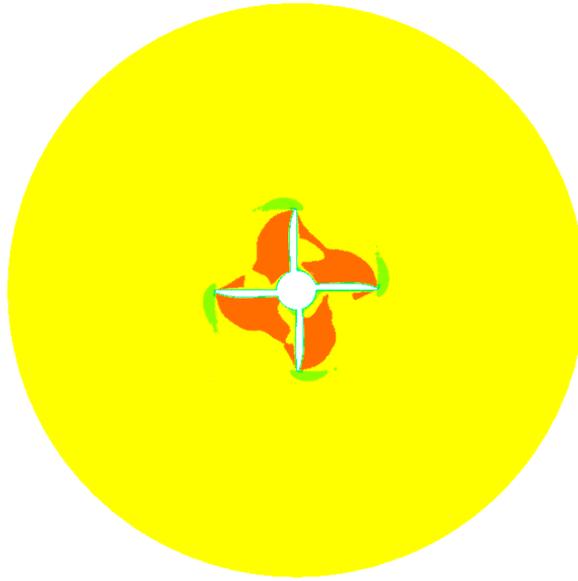
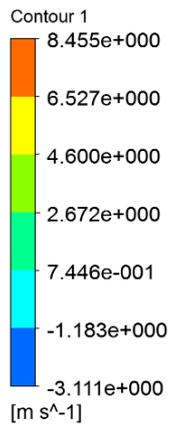
Bentuk aliran PBCF konvergen cap 5 derajat



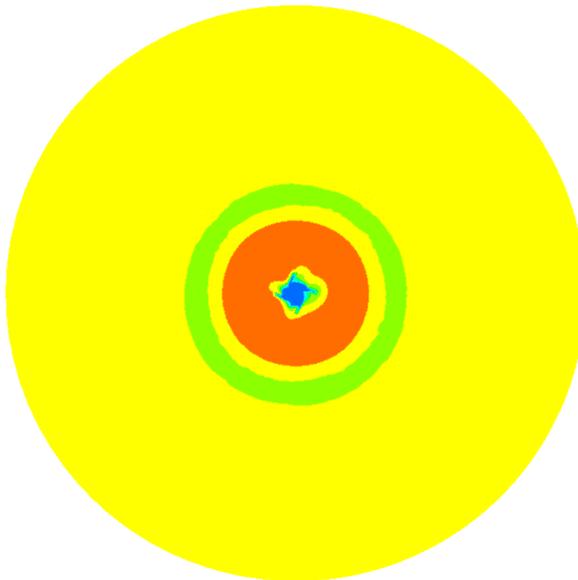
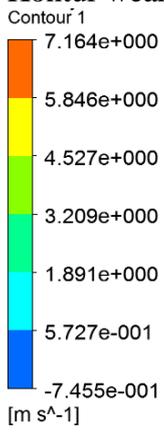
Berikut kontur aliran PBCF Konvergen cap 10 derajat, dengan nilai V_d sebesar 4,8 m/s dan V_b sebesar 1,97 m/s sehingga didapatkan wake sebesar 0,60.



Kontur weak friction posisi belakang baling-baling.

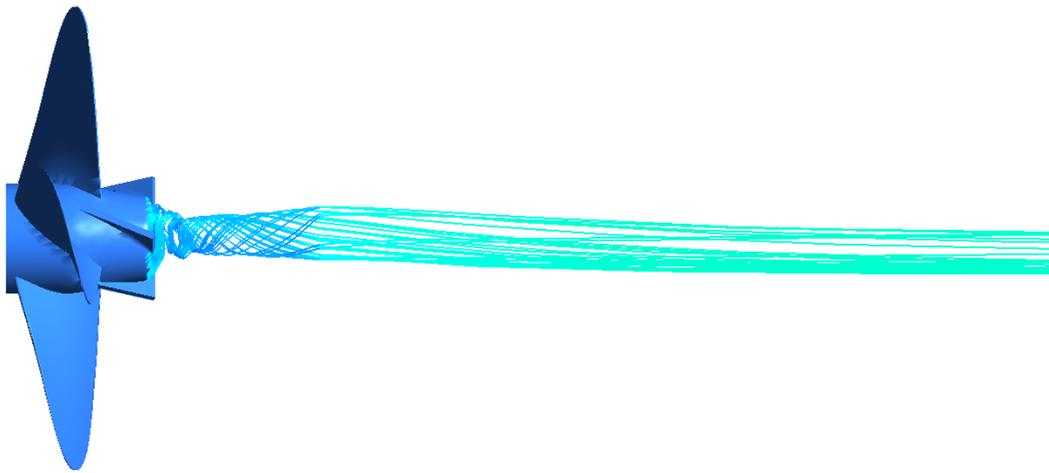


Kontur weak friction posisi tengah baling-baling.

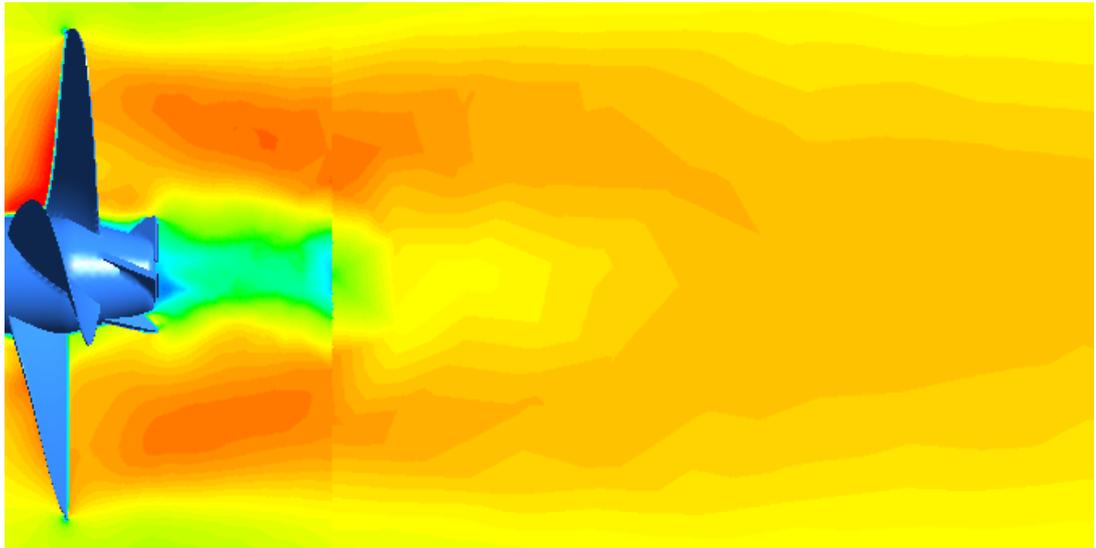


Kontur weak friction posisi depan baling-baling.

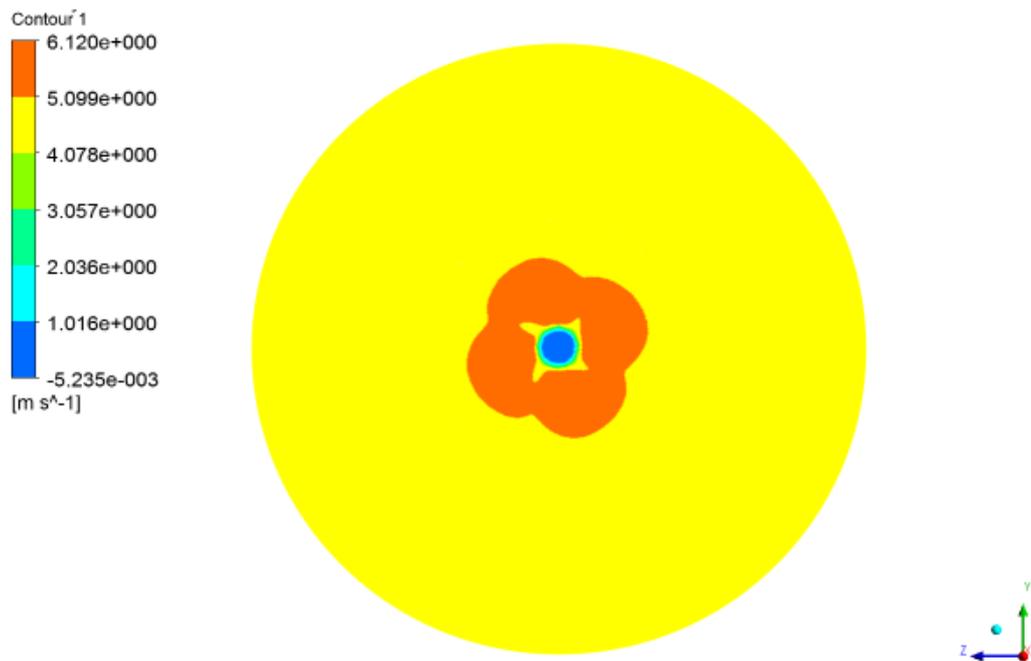




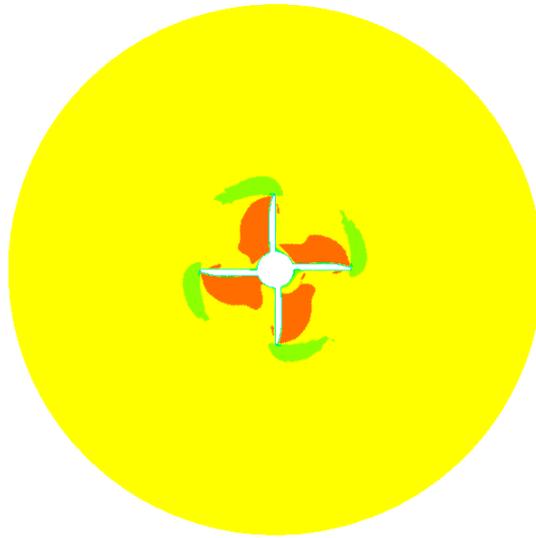
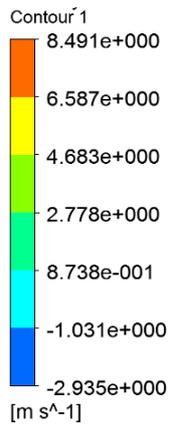
Bentuk aliran PBCF konvergen cap 10 derajat



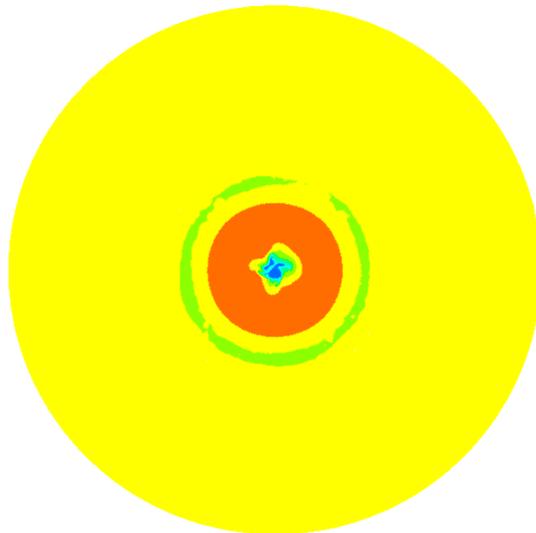
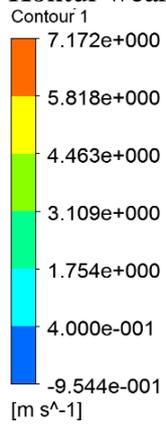
Berikut kontur aliran PBCF Konvergen cap 15 derajat, dengan nilai V_d sebesar 4,8 m/s dan V_b sebesar 1,84 m/s sehingga didapatkan wake sebesar 0,62.



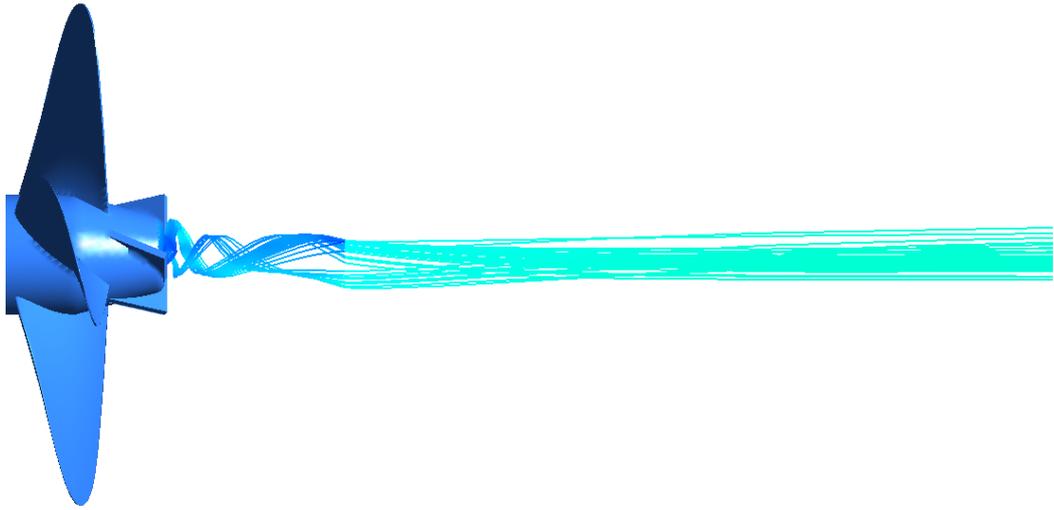
Kontur weak friction posisi belakang baling-baling.



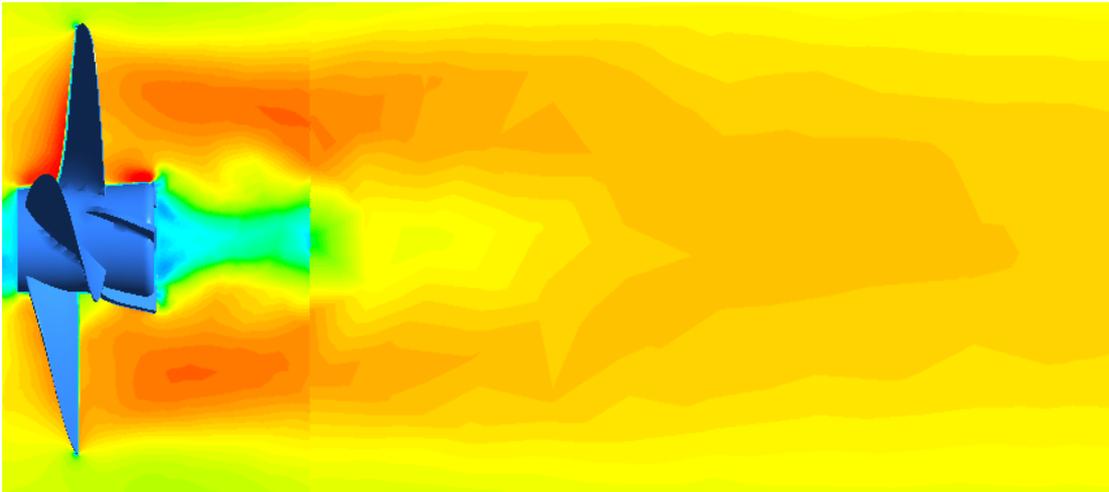
Kontur weak friction posisi tengah baling-baling.



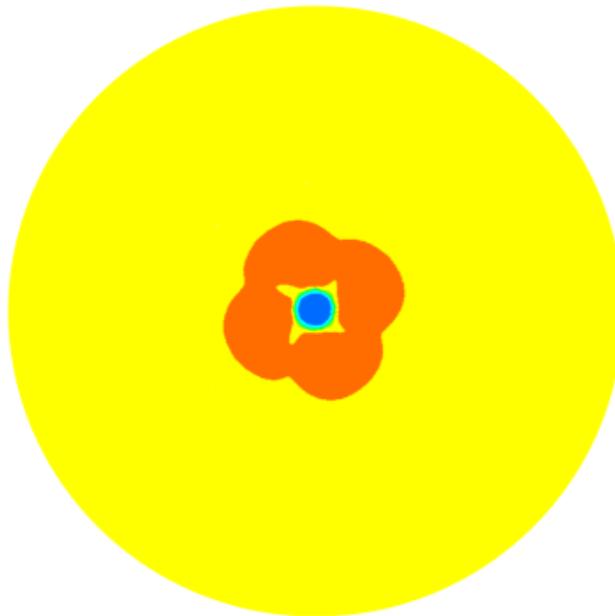
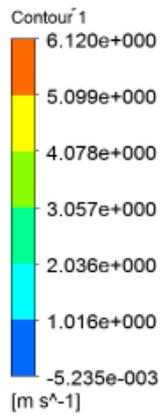
Kontur weak friction posisi depan baling-baling.



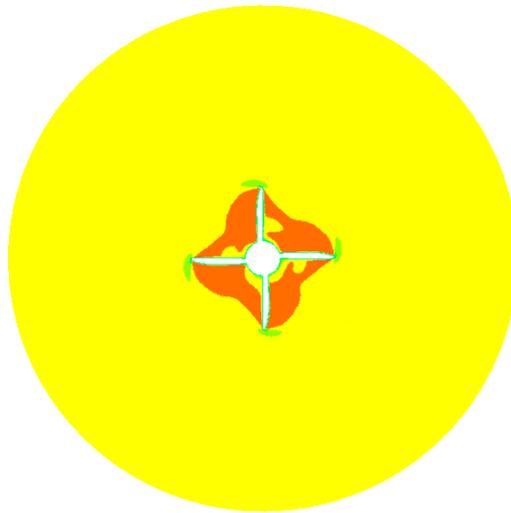
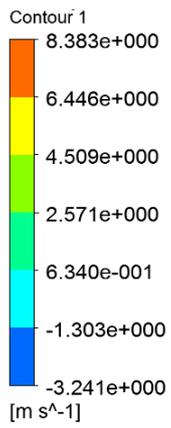
Bentuk aliran PBCF konvergen cap 15 derajat



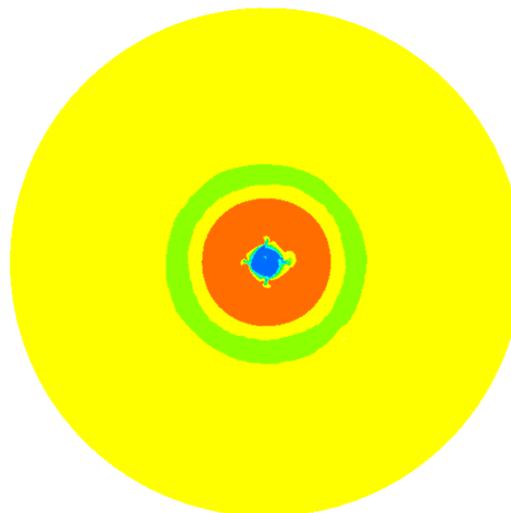
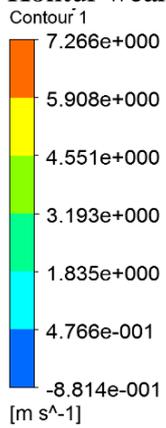
Berikut kontur aliran PBCF Divergen cap 5 derajat, dengan nilai V_d sebesar 4,8 m/s dan V_b sebesar 0,28 m/s sehingga didapatkan wake sebesar 0,94.



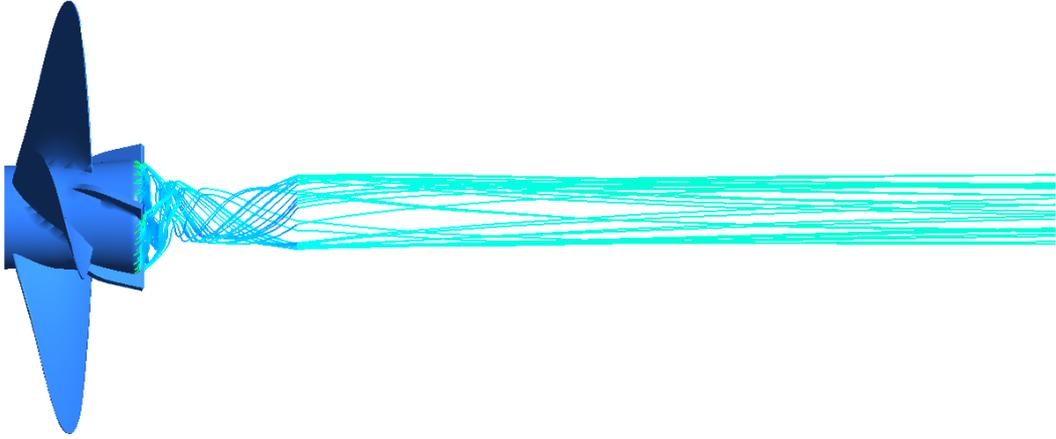
Kontur weak friction posisi belakang baling-baling.



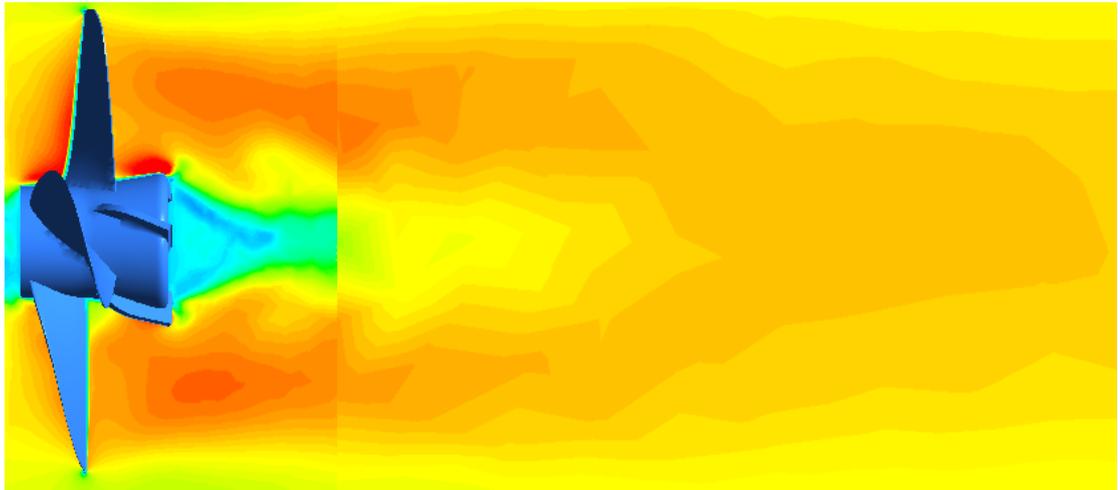
Kontur weak friction posisi tengah baling-baling.



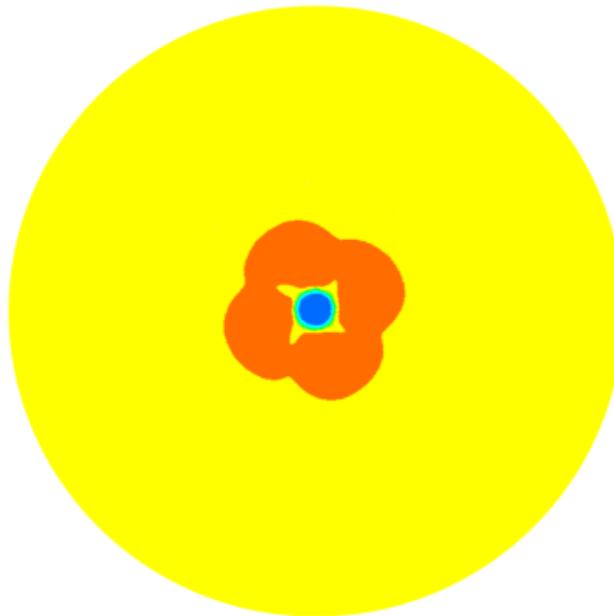
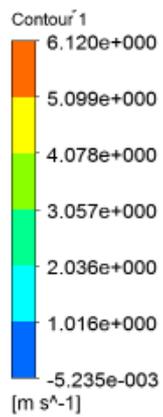
Kontur weak friction posisi depan baling-baling.



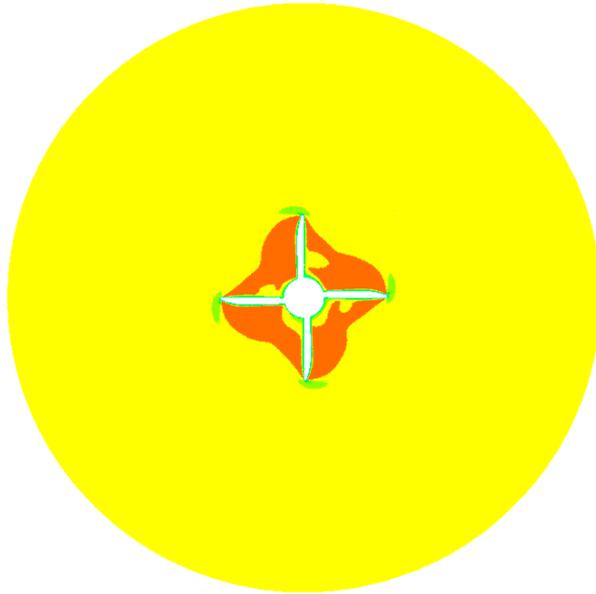
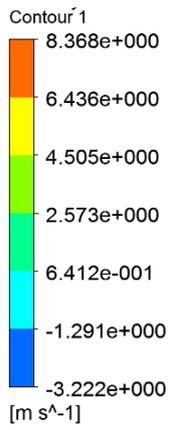
Bentuk aliran PBCF divergen cap 5 derajat



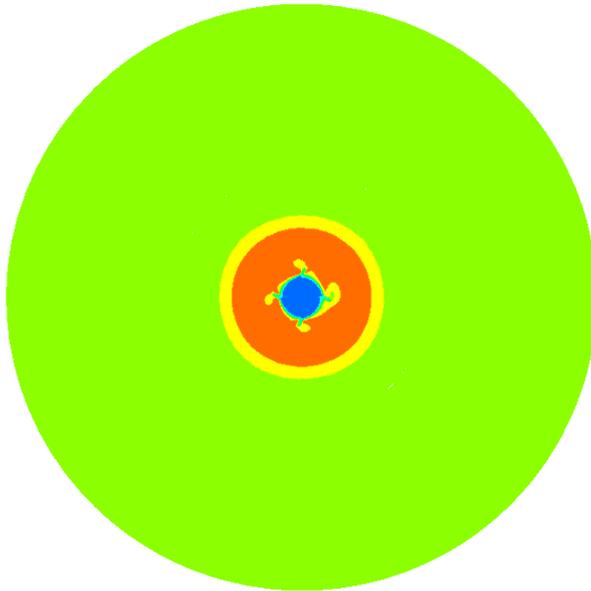
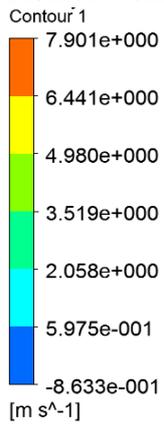
Berikut kontur aliran PBCF Divergen cap 10 derajat, dengan nilai V_d sebesar 4,8 m/s dan V_b sebesar 0,10 m/s sehingga didapatkan wake sebesar 0,97.



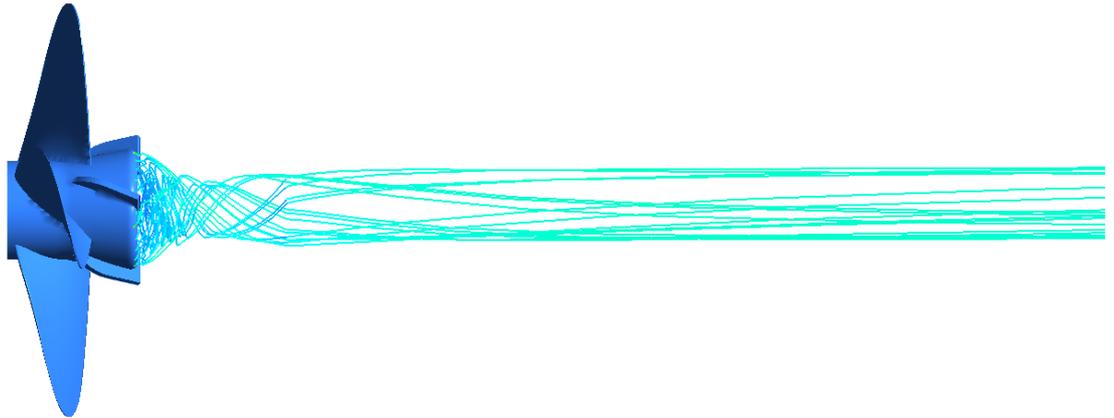
Kontur weak friction posisi belakang baling-baling.



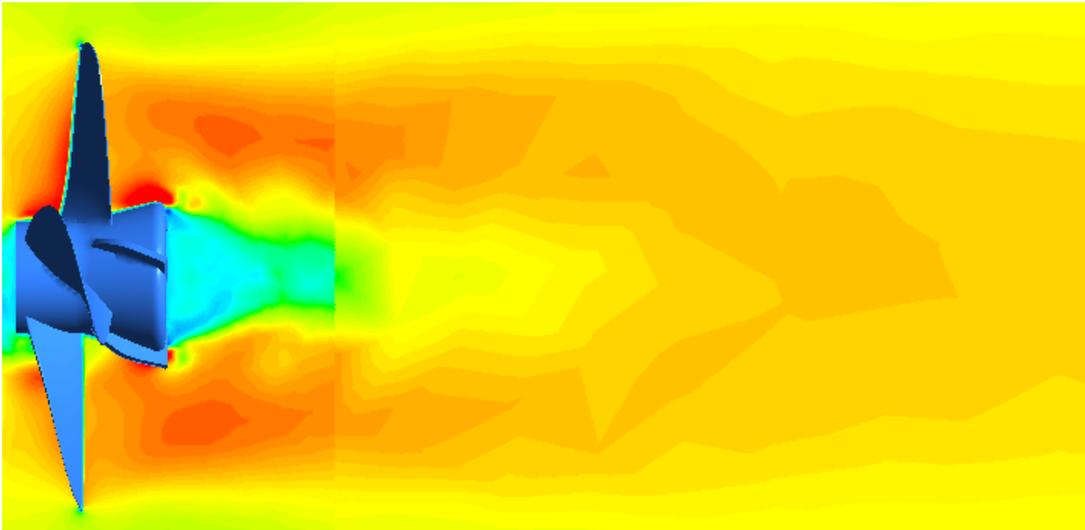
Kontur weak friction posisi tengah baling-baling.



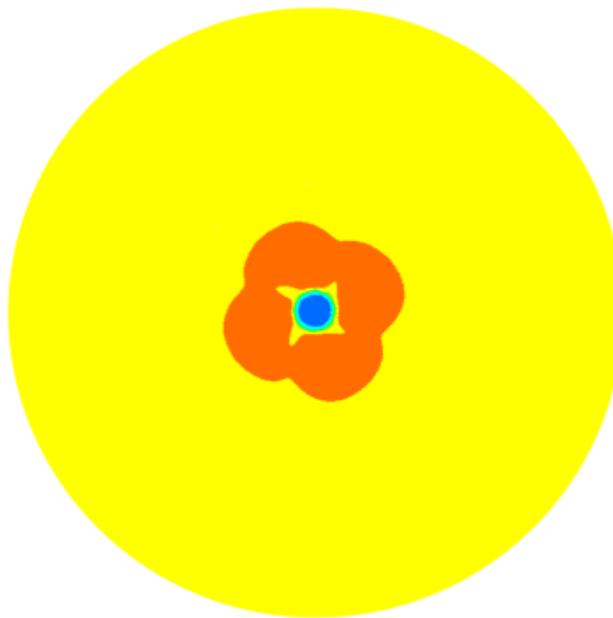
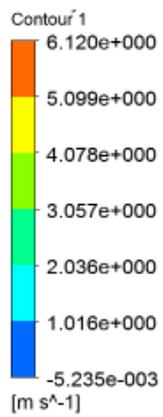
Kontur weak friction posisi depan baling-baling.



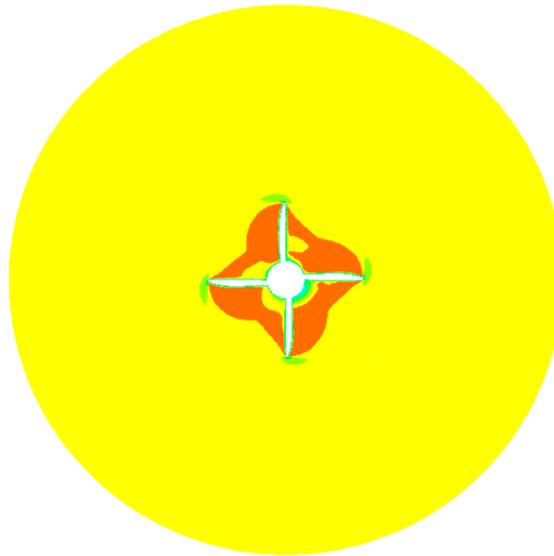
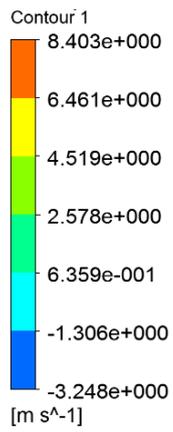
Bentuk aliran PBCF divergen cap 10 derajat



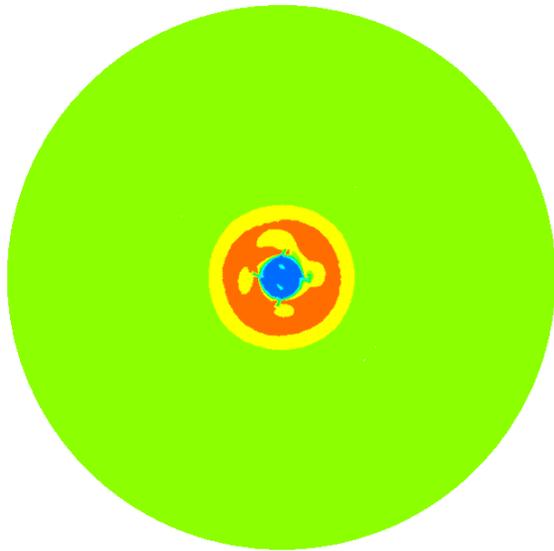
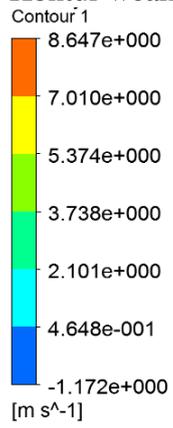
Berikut kontur aliran PBCF Divergen cap 10 derajat, dengan nilai V_d sebesar 4,8 m/s dan V_b sebesar 0,06 m/s sehingga didapatkan wake sebesar 0,987.



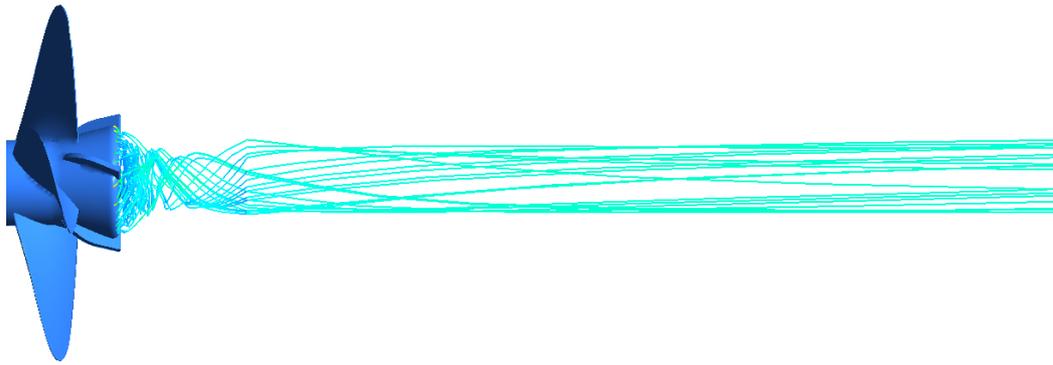
Kontur weak friction posisi belakang baling-baling.



Kontur weak friction posisi tengah baling-baling.



Kontur weak friction posisi depan baling-baling.



Bentuk aliran PBCF divergen cap 15 derajat

20	0,0471729	1	0	2	0	0,001427	0,002854	0,004281	0,005708	0,00812	0,008562	0,009989	0,011416	0,012843	0,01427
21	0,0196283	3	0	2	0	5,94E-06	4,75E-05	0,00016	0,00038	0,001094	0,001283	0,002037	0,00304	0,004328	0,005938
22	-0,0502782	0	1	2	0	-0,01217	-0,01217	-0,01217	-0,01217	-0,01217	-0,01217	-0,01217	-0,01217	-0,01217	-0,01217
23	-0,030055	3	1	2	0	-7,3E-06	-5,8E-05	-0,0002	-0,00047	-0,00134	-0,00157	-0,00249	-0,00372	-0,0053	-0,00727
24	0,0417122	2	2	2	0	8,08E-05	0,000323	0,000727	0,001292	0,002615	0,002907	0,003957	0,005168	0,006541	0,008075
25	-0,0397722	0	3	2	0	-0,00616	-0,00616	-0,00616	-0,00616	-0,00616	-0,00616	-0,00616	-0,00616	-0,00616	-0,00616
26	-0,00350024	0	6	2	0	-0,00028	-0,00028	-0,00028	-0,00028	-0,00028	-0,00028	-0,00028	-0,00028	-0,00028	-0,00028
27	-0,0106854	3	0	0	1	-4,3E-05	-0,00034	-0,00115	-0,00274	-0,00787	-0,00923	-0,01466	-0,02188	-0,03116	-0,04274
28	0,00110903	3	3	0	1	2,27E-06	1,82E-05	6,13E-05	0,000145	0,000418	0,000491	0,000779	0,001163	0,001656	0,002271
29	-0,000313912	0	6	0	1	-0,00033	-0,00033	-0,00033	-0,00033	-0,00033	-0,00033	-0,00033	-0,00033	-0,00033	-0,00033
30	0,0035985	3	0	1	1	7,92E-06	6,33E-05	0,000214	0,000507	0,001458	0,00171	0,002715	0,004053	0,005771	0,007917
31	-0,00142121	0	6	1	1	-0,00082	-0,00082	-0,00082	-0,00082	-0,00082	-0,00082	-0,00082	-0,00082	-0,00082	-0,00082
32	-0,00383637	1	0	2	1	-0,00046	-0,00093	-0,00139	-0,00186	-0,00264	-0,00279	-0,00325	-0,00371	-0,00418	-0,00464
33	0,0126803	0	2	2	1	0,00982	0,00982	0,00982	0,00982	0,00982	0,00982	0,00982	0,00982	0,00982	0,00982
34	-0,00318278	2	3	2	1	-2E-05	-7,9E-05	-0,00018	-0,00032	-0,00064	-0,00071	-0,00097	-0,00126	-0,0016	-0,00197
35	0,00334268	0	6	2	1	0,00106	0,00106	0,00106	0,00106	0,00106	0,00106	0,00106	0,00106	0,00106	0,00106
36	-0,00183491	1	1	0	2	-0,00235	-0,0047	-0,00705	-0,00939	-0,01336	-0,01409	-0,01644	-0,01879	-0,02114	-0,02349
37	0,000112451	3	2	0	2	1,15E-06	9,21E-06	3,11E-05	7,37E-05	0,000212	0,000249	0,000395	0,00059	0,000839	0,001151
38	-2,97228E-05	3	6	0	2	-1,2E-07	-1E-06	-3,4E-06	-8E-06	-2,3E-05	-2,7E-05	-4,3E-05	-6,4E-05	-9,1E-05	-0,00012
39	0,000269551	1	0	1	2	0,000237	0,000474	0,000712	0,000949	0,00135	0,001423	0,00166	0,001898	0,002135	0,002372
40	0,00083265	2	0	1	2	7,33E-05	0,000293	0,000659	0,001172	0,002372	0,002638	0,00359	0,004689	0,005935	0,007327
41	0,00155334	0	2	1	2	0,008748	0,008748	0,008748	0,008748	0,008748	0,008748	0,008748	0,008748	0,008748	0,008748
42	0,000302683	0	6	1	2	0,000698	0,000698	0,000698	0,000698	0,000698	0,000698	0,000698	0,000698	0,000698	0,000698
43	-0,0001843	0	0	2	2	-0,00089	-0,00089	-0,00089	-0,00089	-0,00089	-0,00089	-0,00089	-0,00089	-0,00089	-0,00089
44	-0,000425399	0	3	2	2	-0,00105	-0,00105	-0,00105	-0,00105	-0,00105	-0,00105	-0,00105	-0,00105	-0,00105	-0,00105
45	8,69243E-05	3	3	2	2	2,15E-07	1,72E-06	5,82E-06	1,38E-05	3,97E-05	4,65E-05	7,39E-05	0,00011	0,000157	0,000215
46	-0,0004659	0	6	2	2	-0,00059	-0,00059	-0,00059	-0,00059	-0,00059	-0,00059	-0,00059	-0,00059	-0,00059	-0,00059
47	5,54194E-05	1	6	2	2	7,03E-06	1,41E-05	2,11E-05	2,81E-05	4E-05	4,22E-05	4,92E-05	5,63E-05	6,33E-05	7,03E-05
						0,037726	0,034797	0,031497	0,027813	0,020685	0,019251	0,014348	0,009015	0,00324	-0,00299

η_0	J									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,569	0,6	0,7	0,8	0,9	1
	0,1318	0,258236	0,376641	0,483624	0,621845	0,637824	0,650946	0,527572	- 0,46229	3,153373

Manual Hasil dari CFD

$$K_T = (43260) / (1025 * (4,28)^2 * (2)^4)$$

$$= 0,144$$

$$K_Q = (13038) / (1025 * (4,28)^2 * (2)^5)$$

$$= 0,0217$$

$$\text{Efisiensi} = (0,144 / 0,0217) * (0,569 / 6,28)$$

$$= 0,599$$

BIODATA PENULIS



Insanu Abdilla Cendikia Abar. Lahir di Sukoharjo pada tanggal 17 Desember 1993, Anak pertama dari pasangan Bapak Drs. Husni Abar dan Ibu Dra. Titik Tresno Widhi memiliki satu saudara perempuan, Insani Abdilla Rausan Fikri Abar. Menempuh pendidikan TK (1998) sampai SMA (2011) di Surakarta, pada tahun 2011 ia melanjutkan pendidikan jenjang S-1 Jurusan Teknik Perkapalan di Universitas Diponegoro Semarang, dan setelah lulus S-1 memutuskan untuk mengaplikasikan ilmu yang telah didapatkan di galangan kapal PT. Janata Marina Indah (JMI) Semarang. Setelah mengambil pengalaman kerja selama kurang lebih 1 tahun untuk menambah ilmu teori secara teknik maka ia memutuskan melanjutkan ke jenjang magister S-2 Teknik Perkapalan di Institut Sepuluh Nopember Surabaya. Disamping melanjutkan studi S-2 ia juga ikut serta dalam struktur organisasi NasDEC ITS sejak tahun 2017 hingga sekarang dan bergabung dalam pengerjaan beberapa penelitian, tim pelatihan dan *project* antara lain desain kapal LNG *carrier*, kapal wisata dari PLN, dan Kapal Patroli dari Sumatra Utara. Selain itu ia bergabung dalam pembuatan beberapa paten tentang kapal angkut ikan dan *void tank* kapal penumpang. Selama dua tahun terakhir ini ia juga telah melakukan dua kali publikasi pada seminar internasional yaitu seminar MASTIC 201. Harapan terbesarnya kedepan adalah membuat bangga kedua orang tua dan adik tercinta, serta bermanfaat bagi banyak orang dengan cara mengamalkan ilmu yang telah didapatkan dibidang pendidikan.

Email : insanu.abar.93@gmail.com

No. HP : +62 858 6727 2792