

ANALISA EFISIENSI PROPELLER B-SERIES DAN KAPLAN PADA KAPAL TUGBOAT ARI 400 HP DENGAN VARIASI JUMLAH DAUN, SUDUT RAKE MENGGUNAKAN CFD

Andi Trimulyono¹⁾, Kiryanto¹⁾

¹⁾Program Studi S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia
Email : anditrimulyono@gmail.com

Abstrak

Salah satu aspek yang paling penting dalam pembuatan kapal adalah perencanaan sistem propulsi salah satu aspek dari sistem propulsi itu sendiri adalah perencanaan desain Propeller. Propeller merupakan salah satu aspek yang harus direncanakan dengan baik agar tercapai tujuan kapal dalam hal kecepatan. Kecepatan pada kapal tidak terlepas dari desain propeller yang baik agar mendapatkan gaya dorong (*Thrust*) optimal yang dihasilkan oleh gerak propeller. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai *thrust* optimum untuk Propeller TB Ari 400 HP dari analisa model variasi sudut *rake* dan jumlah daun yang dibuat sehingga dapat diketahui dari variasi model tersebut manakah yang memiliki nilai *thrust* tinggi dan *torque* terendah serta untuk mengetahui perbandingan nilai *thrust* yang dihasilkan dari variasi model B-series dan Kaplan dengan variabel sudut *rake* dan jumlah daun. Hasil dari penelitian ini menunjukkan Nilai *thrust* tertinggi dihasilkan pada model Propeller Ka5 50 diameter 1 m sudut rake 0⁰ dengan nilai *thrust* tertinggi sebesar 14608,8 N pada putaran 500 RPM. Nilai *torque* terendah dihasilkan pada model Propeller B4 50 Series sudut 10⁰ diameter 0,813m dengan nilai 513,967 Nm pada putaran 500 RPM. Nilai perbandingan *thrust* dan *torque* tersebut di dapatkan dari model dengan parameter analisis dimensi yang sama dan Putaran 500 RPM. Dan mendapat Nilai efisiensi tertinggi diperoleh pada model propeller B4 50 sudut rake 12⁰ diameter 0,813 m yaitu sebesar 0,6764 pada putaran 500 RPM

Kata kunci : *Propeller B-series, Propeller Kaplan, Thrust, Jumlah daun, Sudut Rake*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Banyak aspek yang mempengaruhi dan harus diperhatikan dalam mencapai kecepatan optimum pada kapal yaitu perencanaan lambung, perencanaan sistem permesinan dan perencanaan sistem propulsi dan perencanaan lainnya yang wajib dipenuhi guna mencapai tujuan pembangunan sebuah kapal berdasarkan fungsinya. [1]

Salah satu aspek yang paling penting dalam pembuatan kapal itu sendiri adalah aspek perencanaan dibidang sistem propulsi. Salah satu aspek dari sistem propulsi itu sendiri

adalah perencanaan desain propeller. Propeller merupakan salah satu aspek yang wajib direncanakan dengan baik guna mencapai tujuan fungsi kapal dalam mencapai kecepatan yang optimum. Kecepatan pada kapal tidak terlepas dari desain propeller yang baik agar mendapatkan gaya dorong (*Thrust*) optimal yang dihasilkan oleh gerak propeller. [2]

Kapal tugboat Ari 400 HP yang berfungsi di daerah pelabuhan guna memandu kapal ataupun memberikan bantuan untuk mendorong kapal yang bertujuan masuk ke daerah pelabuhan, baik ataupun menarik kapal agar mendapatkan posisi parkir yang baik di

wilayah pelabuhan ataupun galangan kapal. oleh karena itu untuk mendapatkan kemampuan memandu kapal dengan baik diperlukan tenaga yang besar yang dihasilkan dari gaya dorong pada propeller pada kapal tugboat. Dilihat dari fungsinya tersebut kapal tugboat wajib memiliki sistem propulsi yang baik guna menghasilkan nilai *thrust* yang optimal pada propeller.

Thrust merupakan gaya dorong yang ditimbulkan dari gaya angkat / *lift* pada bagian belakang propeller yang bergerak serta searah dengan gerakan kapal. salah satu persyaratan yang perlu diperhatikan pada desain propeller sendiri guna mendapatkan *thrust* maksimal adalah jumlah daun, dan sudut *rake*. melalui pengujian persyaratan jumlah daun, dan sudut *rake* dalam setiap pembuatan desain-desain propeller maka akan menghasilkan nilai *thrust* yang berbeda pula.[3] Seperti pada propeller jenis B-series dan Kaplan. Berdasarkan Hal tersebut diatas maka perlu dilakukan Analisa nilai Thrust maksimal yang dihasilkan pada series B-series dan Kaplan sehingga dapat mengetahui *thrust maksimal* yang terbaik dari variasi persyaratan tersebut untuk Kapal Tugboat Ari 400 HP.

1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas maka maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui nilai *thrust* optimum untuk Propeller TB Ari 400 HP dari analisa model variasi yang dibuat, menggunakan CFD sehingga dapat mengetahui dari model tersebut manakah yang memiliki nilai *thrust* tinggi.
2. Untuk mengetahui nilai efisiensi tertinggi yang didapatkan pada variasi pengujian model Propeller menggunakan CFD Pada Kapal Tugboat 400 HP

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hidrodinamika propeller

Dalam membuat bentuk dasar propeller dibutuhkan bentuk yang hidrodinamis yaitu yang dinamakan Hidrofoil dimana menghasilkan suatu *lift* yang lebih besar dibandingkan dengan drag-nya[5]. Pergerakan dari hidrofoil ini terjadi pada

suatu media fluida dengan kecepatan yang memungkinkan terjadinya hidrodinamika. Hidrodinamika adalah peristiwa di mana kecepatan antara bagian atas dan bawah hidrofoil terjadi perbedaan. Fluida yang melalui bagian atas *airfoil* melaju lebih cepat daripada fluida yang melewati bagian bawah. Hal ini disebabkan adanya perbedaan tekanan antara aliran fluida bagian atas dan aliran fluida bagian bawah. Seperti yang kita ketahui bahwa besarnya tekanan berbanding terbalik terhadap besarnya kecepatan.

Sehingga yang terjadi adalah aliran fluida yang melalui bagian bawah hidrofoil lebih pelan bila dibandingkan bagian atas hidrofoil. Perbedaan tekanan yang terjadi inilah yang kemudian akhirnya menimbulkan fenomena *lift* atau gaya angkat itu.

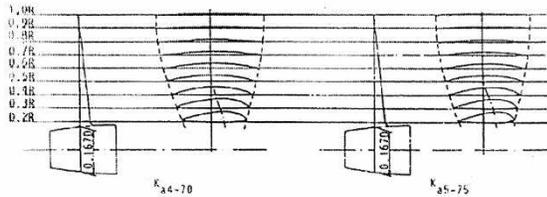
2.2 Baling-baling

Baling-baling ulir merupakan bentuk alat penggerak kapal yang paling umum. Sebuah baling-baling ulir mempunyai dua buah daun atau lebih yang menjorok dari hub atau bos . Bos ini dipasang pada poros yang digerakkan oleh mesin penggerak kapal. Daun baling-baling tersebut dapat merupakan bagian yang menyatu dengan hub, atau merupakan bagian yang dapat dilepas dari dan dipasang pada hub atau merupakan daun yang dapat dikendalikan (*controllable pitch propeller*). [4]

Baling-baling umumnya diletakkan pada kedudukan yang serendah mungkin di bagian belakang kapal. Suatu baling-baling harus mempunyai garis tengah (diameter) demikian rupa sehingga bila kapal dalam keadaan bermuatan penuh baling-baling tersebut akan terbenam dengan memadai sehingga dapat menghindari sejauh mungkin terjadinya fenomena terikutnya udara (*air drawing*) dan pemacuan baling-baling (*racing*) ketika kapal mengalami gerakan *pitching*. [5]

2.3 Geometri

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.



Gambar 1. Sketsa definisi baling-baling[4].

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. [5]

2.5. Computational Fluid Dynamic (CFD)

Computational Fluid Dynamics (CFD) [5] merupakan salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa permasalahan yang berhubungan dengan aliran fluida. Tujuan dari CFD adalah untuk memprediksi secara akurat tentang aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dalam sistem yang kompleks, yang melibatkan satu atau semua fenomena di atas.

Aplikasi dari CFD untuk penyelesaian masalah aliran pada propeller telah mengalami kemajuan cukup pesat pada akhir-akhir ini. Bahkan pada saat ini teknik CFD merupakan bagian dari proses desain dalam diagram spiral perancangan.

Computational Fluid Dynamics terdiri dari tiga elemen utama yaitu:

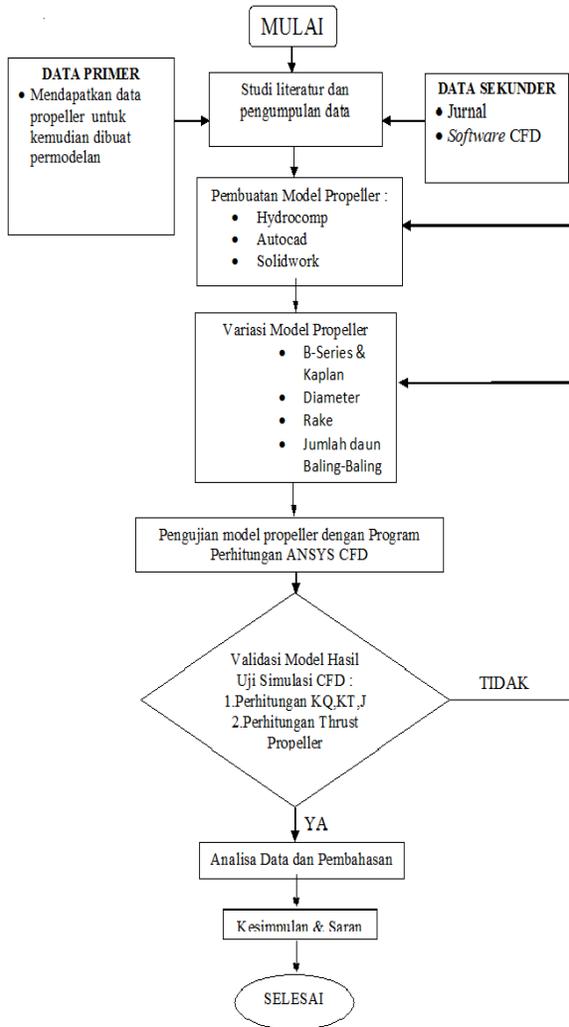
- a. Pre Processor
- b. Solver Manager
- c. Post Processor

Sebuah pemahaman yang baik diperlukan dalam menyelesaikan algoritma penyelesaian numerik. Terdapat tiga konsep matematika yang berguna dalam menentukan berhasil atau tidaknya algoritma:

- Konvergensi, merupakan properti metode numerik untuk menghasilkan solusi yang mendekati solusi eksakta sebagai grid spacing, ukuran kontrol volume atau ukuran elemen dikurangi mendekati nol.
- Konsisten, merupakan suatu skema numerik yang menghasilkan sistem persamaan aljabar yang dapat diperlihatkan ekuivalen dengan persamaan pengendali sebagai grid spasi mendekati nol.
- Stabilitas, yaitu penggunaan faktor kesalahan sebagai indikasi metode numerik. Jika sebuah teknik tidak stabil dalam setiap kesalahan pembulatan bahkan dalam data awal dapat menyebabkan osilasi atau divergensi.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang dipakai untuk penyelesaian penelitian ini secara lengkap dapat dilihat pada gambar dibawah dengan tahapan-tahapan seperti berikut :

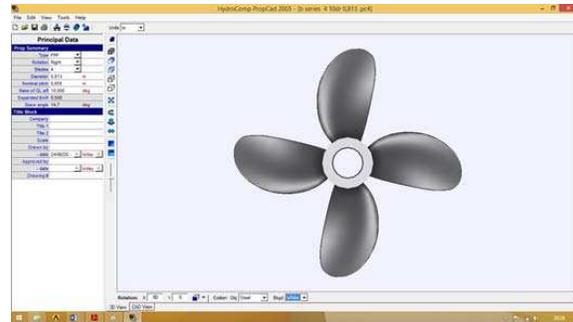


Gambar 2 Flow Chart metodologi penelitian

4. PENGHITUNGAN DAN ANALISA DATA

4.1 Pemodelan Menggunakan CAD propeller

Data ukuran utama propeller digunakan sebagai input pada software PropCAD yang kemudian langsung dilakukan perhitungan guna menghasilkan koordinat propeller 3D (koordinat *propeller* ditunjukkan dalam Lampiran). Pada pembuatan model menggunakan PropCAD ini akan menghasilkan gambar Berikut ini, merupakan hasil visualisasi desain geometri pada software CAD propeller.



Gambar 3. Penggambaran Propeller dengan CAD propeller.

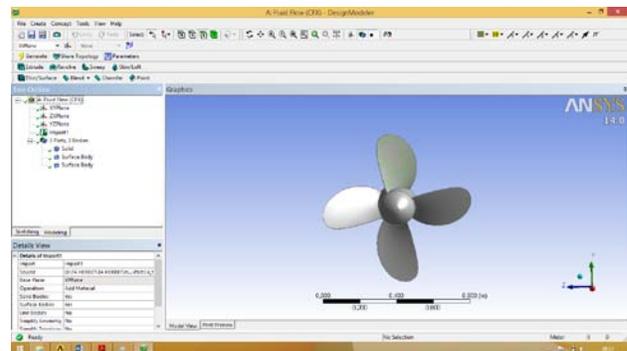
4.2 Simulasi Computational Fluid Dynamic

Langkah simulasi numerik pada CFD pada dasarnya sama dengan jenis software lain yang berbasis Computational Fluid Dynamic. Pengujian ini menggunakan perhitungan solver *Fluid Flow Analys (CFX)*. Secara garis besar langkah – langkah simulasi numerik pada solver ini dibagi menjadi beberapa tahapan antara lain:

- a. Geometry
- b. Mesh
- c. Setup

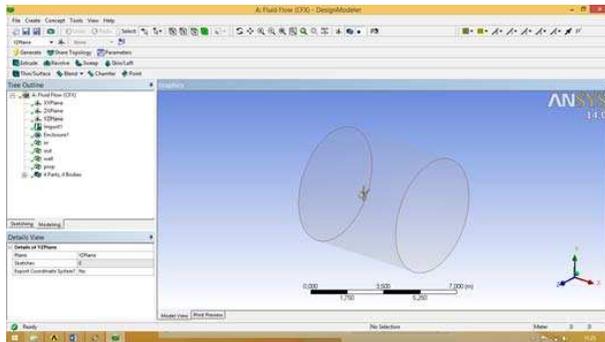
4.3 Tahap Geometry

Geometry merupakan langkah awal dimana pengecekan solid tidaknya model. Pada tahap ini juga dilakukan pembuatan domain fluida tempat pengujian. Pada tahap ini perintah yang digunakan adalah file > import external geometry file > enter file model > OK > generate. Pada Gambar 4. Model akan solid apabila muncul tanda balok.



Gambar 4. Model solid

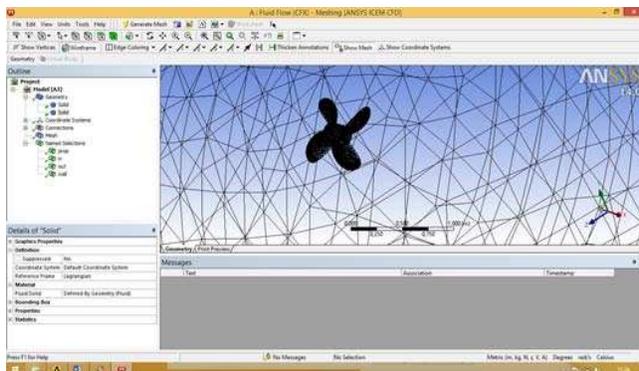
Langkah selanjutnya pembuatan boundary building pada Gambar 5. pada tahap ini langkah pertama yaitu pemilihan XY plan sebagai koordinat.



Gambar 5. Boundary building Propeller pada tahap Geometry

4.4 Tahap Mesh

Setelah domain fluida terbentuk langkah selanjutnya adalah melakukan meshing pada model pada Gambar 6. Untuk itu lebih dahulu menentukan ukuran element yang akan kita gunakan. Namun perlu diingat bahwa semakin kecil elemen yang dibuat, maka jumlah element yang terbentuk semakin banyak sehingga waktu *running* akan semakin lama dan menghasilkan kapasitas file yang besar.



Gambar 6. Hasil mesh

4.5 Tahap Set Up

Set up adalah tahapan yang dilakukan setelah mesh berhasil dilakukan. *Set up* merupakan tahapan yang berisi tentang penentuan hal – hal yang berkaitan dengan simulasi. Gambar

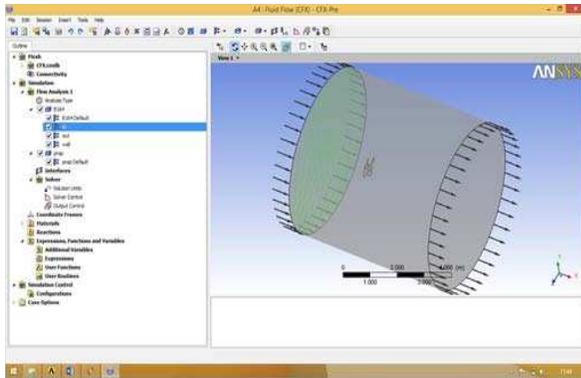
7. Pada tahap ini dibagi menjadi beberapa langkah, antara lain default domain, solver, pembuatan *expression*, dan lain-lain.

Pada tahap set up ini adalah set up yang digunakan untuk memvalidasikan [5] hasil uji coba Propeller dengan perhitungan CFD dan perhitungan manual yang kemudian set up tersebut akan di adopsi untuk pengujian variasi Propeller untuk TB ARI 400 HP. Berikut adalah set up yang digunakan :

Table 1 Boundary Physics

Domain - Default Domain	
Type	Fluid
Location	B79
Materials	
Water	
Fluid Definition	Material Library
Morphology	Continuous Fluid
Settings	
Buoyancy Model	Non Buoyant
Domain Motion	Rotating
Angular Velocity	[rev min ⁻¹]
Axis Definition	Coordinate Axis
Rotation Axis	Coord 0.1
Reference Pressure	1.0000e+00 [atm]
Heat Transfer Model	Isothermal
Fluid Temperature	2.5000e+01 [C]
Turbulence Model	k epsilon
Turbulent Wall Functions	Scalable

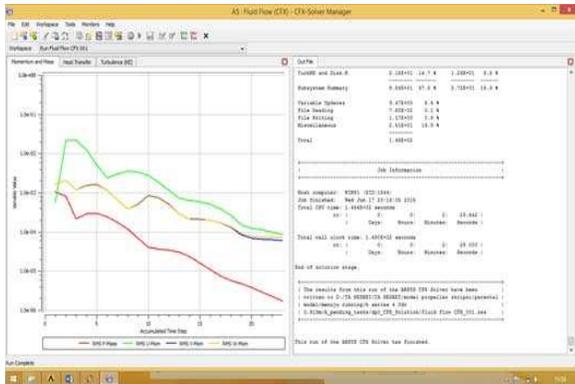
Disini juga ditentukan *solver control* simulasi. *Solver control* yang dipilih yaitu 0,0004. Sebagai nilai konvergensi untuk melihat tingkat error. Angka tersebut dipilih karena semakin kecil tingkat error, semakin bagus pula kualitas hasil simulasi



Gambar 7. Domain pada setup

4.5.1 Tahap Solution

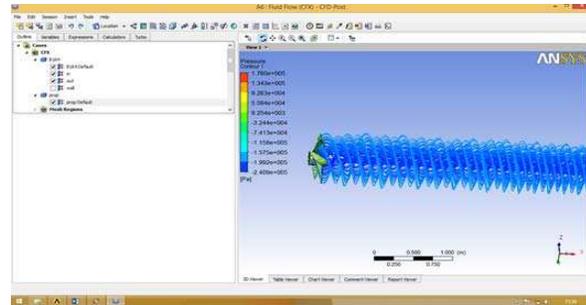
Setelah *set up* selesai di program, tahap selanjutnya adalah solution pada Gambar 8. Dalam tahap ini proses perhitungan (running) dilakukan berupa literasi dari persamaan dasar dinamika fluida pada CFD



Gambar 8. Grafik perhitungan (running)

4.5.2 Tahap Results

Setelah proses *running* atau simulasi selesai maka hasilnya dapat kita lihat di tahap solution pada Gambar 9. Pada penelitian ini hasil yang diinginkan berupa nilai thrust (*force*), dan *torque* model dan visualisasi aliran berupa 2 dimensi maupun 3 dimensi.



Gambar 9. Visualisasi aliran

4.5.3 Validasi Propeller

Pada penelitian ini untuk memvalidasi hasil dari uji model, menggunakan software hasil uji yang sudah ada. Validasi digunakan untuk menentukan boundary condition yang tepat untuk digunakan pada boundary condition pada saat menganalisa model Propeller untuk TB ARI 400 HP dengan menggunakan *software* berbasis CFD. Acuan Validasi untuk Propeller Menggunakan Grafik pada Diktat Analisa KT-KQ-J Wageningen B-series Propeller dengan pengujian Propeller B-Series yaitu propeller yang digunakan tipe Wageningen B4 50 series propeller. Salah satu maksimal error untuk validasi antara CFD dengan uji hasil perhitungan KT-KQ-J adalah 5%. Berikut data Propeller untuk di validasi ::

- Jenis Propeller FPP- B Series
- Rotation Right
- Diameter 0,813 m
- Pitch 0,655 m
- Pitch Diameter Ratio 0,81
- Blade Area Ratio 0,50
- Number of blades 4 blades
- Rake angle 10^0

Pada penelitian tersebut hasil perhitungan CFD yang di dibandingkan dengan uji coba Propeller Pada hasil perhitungan dengan CFD pada CFX 15.0 adalah sebagai berikut :

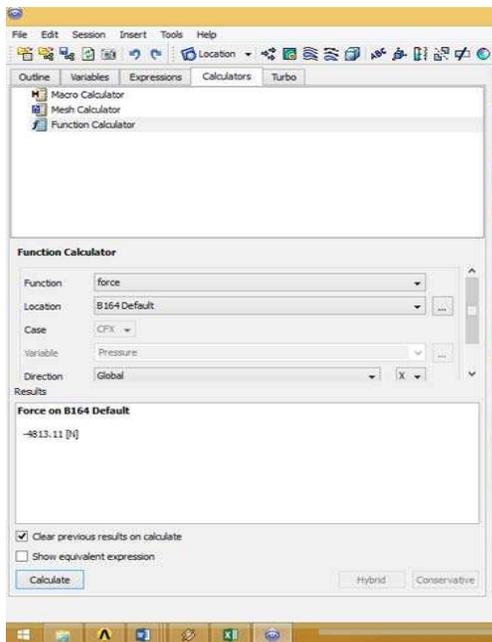
Tabel 2 Perbandingan Hasil uji coba [9] dengan simulasi CFD

Kecepatan Rotasi (rpm)	Hasil Perhitungan thrust (N)	Hasil simulasi CFD (N)	Erorr (%)
500	4631.07	4463.15	3,625

Dari hasil perhitungan CFD yang di bandingkan dengan uji coba Propeller dapat disimpulkan bahwa parameter set up pada perhitungan CFD cukup akurat yaitu 0% - 5% maka parameter set up tersebut akan digunakan pada perhitungan CFD untuk Propeller TB ARI 400 HP.

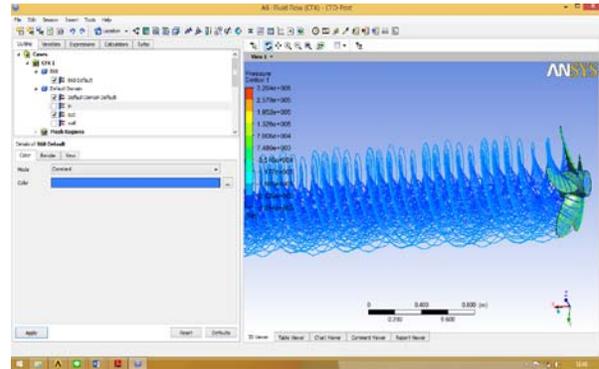
4.5.4 Perhitungan Force Dan Torque Pada Propeller

Perhitungan thrust (*force*) dan torque pada Propeller dengan metode Computational Fluid Dynamic pada post processor (hasil running) diambil dari tahap *results* yaitu pada *function calculator*, *function* yang di inginkan yaitu *force* dan *torque*. *Location* merupakan pemilihan area yang ingin di ketahui nilainya dapat dilihat pada Gambar 10. Kemudian dari data tersebut kita olah sehingga menjadi data yang matang.

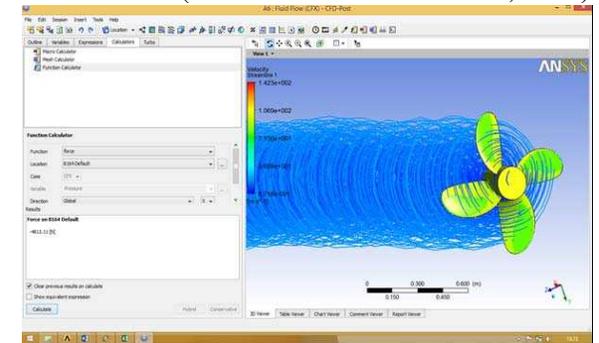


Gambar 10. Pengambilan data

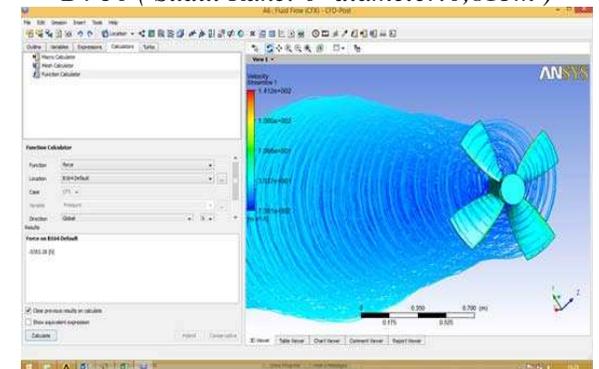
4.2 Analisa Data



Gambar 11. Streamline velocity pada Propeller B5 50 Series (sudut rake: 10° Diameter: 0,813m)



Gambar 12. Streamline velocity pada Propeller B4 50 (Sudut Rake: 0° diameter:0,813m)



Gambar 13. Streamline velocity pada Propeller Ka4 50 Series (Sudut Rake: 0° diameter: 0813m)

Dari hasil running simulasi pada Gambar 11 hingga dengan gambar 13. menunjukkan fenomena *Streamline velocity* pada model Propeller dan *Pressure Contour* pada Propeller yang berbeda;

1. Pada B4 50 Series, (Sudut Rake: 0^0 Diameter: 1m) mempunyai tekanan yang lebih besar di bandingkan dengan propeller simulasi yang lain dikarenakan adanya perubahan diameter yang lebih besar dengan sudut ketetapan 0^0

2. Pada model Propeller B5 50 Series (sudut rake: 10^0 Diameter: 0,813m) memiliki nilai Thrust dan Torque lebih besar dibandingkan Propeller B4 50 (Sudut Rake: 0^0 diameter: 0,813m) karena disebabkan adanya perubuhana jumlah daun baling-baling yang lebih efisien dengan sudut 10^0

3. Pada model Propeller Ka4 50 Series (Sudut Rake: 0^0 diameter: 0813m) memiliki nilai thrust dan torque lebih besar dari Propeller B4 50 (Sudut Rake: 0^0 diameter: 0,813m) karena disebabkan adanya pengaruh perbedaan bentuk aliran fluida pada propeller b-series dengan Kaplanwalaupun sudut, diameter, dan jumlah daun berjumlah tetap

4.3 Pembahasan

Dari hasil analisa diatas maka dapat dibuat table dan grafik sebagai berikut :

Tabel 3 Variasi propeller B-series beserta nilai efisiensi, thrust dan torque

Jumlah daun	Sudut	Diameter (m)	Thrust (kN)	Torque (Nm)	η (%)
4	0	0.813	4.81	533.47	67.20
4	0	1	8.89	1041.66	63.59
4	10	0.813	4.63	513.96	67.12
4	10	1	10.34	1149.83	67.02
4	12	0.813	4.86	535.52	67.64
4	12	1	10.25	1144.18	66.76
5	0	0.813	5.29	592.04	66.66
5	0	1	9.90	1172.29	62.94
5	10	0.813	5.37	595.51	67.29
5	10	1	10.77	1228.56	65.30
5	12	0.813	4.91	605.41	60.46
5	12	1	10.92	1243.39	65.43

Tabel 4 Variasi propeller Kaplan beserta nilai efisiensi, thrust dan torque

Jumlah daun	Sudut	Diameter (m)	Thrust (kN)	Torque (Nm)	η (%)
4	0	0.813	5.35	645.25	61.80
4	0	1	11.99	1579.5	56.58
4	10	0.813	6.49	722.63	66.91
4	10	1	12.20	1590.05	57.19
4	12	0.813	6.43	719.445	66.59
4	12	1	13.32	1539.06	64.51
5	0	0.813	7.08	854.615	61.72
5	0	1	14.60	1862.52	58.43
5	10	0.813	7.05	896.409	58.60
5	10	1	14.13	1934.68	54.43
5	12	0.813	7.26	855.474	63.23
5	12	1	14.26	1935.01	54.92

Dari penyajian tabel di atas pada tabel 3 hingga tabel 4 menunjukkan perbedaan nilai *thrust* dan torque.

1. Nilai *thrust* tertinggi dihasilkan pada model Propeller Ka5 50 diameter 1 m sudut rake 0^0 dengan nilai *thrust* tertinggi sebesar 14608,8 N pada putaran 500 RPM
2. Nilai torque terendah dihasilkan pada model Propeller B4 50 Series sdu 10^0 diameter 0,813 m dengan nilai 513,967 Nm pada putaran 500 RPM.
3. Nilai perbandingan *thrust* dan torque tersebut di dapatkan dari model dengan parameter analisis dimensi yang sama dan Putaran 500 RPM. Dan mendapatkan Nilai efisiensi tertinggi diperoleh pada model propeller B4 50 sudut rake 12^0 diameter 0,813 m yaitu sebesar 67,64 % pada putaran 500 RPM

5. KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan dan simulasi yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari variasi model dengan jumlah daun dan sudut *rake* tersebut, terlihat Nilai *thrust* tertinggi dihasilkan pada model Propeller Ka5 50 diameter 1 m sudut *rake* 0^0 dengan nilai *thrust* tertinggi sebesar 14608,8 N pada putaran 500 RPM. Nilai *torque* terendah dihasilkan pada model propeller B4 50 Series sudut 10^0 diameter 0,813 m dengan nilai 513,967 Nm pada putaran 500 RPM.
2. Nilai perbandingan *thrust* dan *torque* tersebut di dapatkan dari model dengan parameter analisis dimensi yang sama dan Putaran 500 RPM. Dan mendapatkan Nilai efisiensi tertinggi diperoleh pada model propeller B4 50 sudut *rake* 12^0 diameter 0,813 m yaitu sebesar 67,64 % pada putaran 500 RPM

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Molland, Antony E, 2010, *The Maritime Engineering Reference Book*, Oxford University, Oxford UK
- [2] Huda, Nurul, 2013, *Analisa pengaruh Energy Saving Device pada Propeller dengan Metode CFD*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Perkapalan, UNDIP: Semarang
- [3] Kuiper, G, 2010, *New Developments and Propeller Design*, International Conference on Hydrodynamics on october 2010 : Shanghai, China
- [4] Lewis, E.V., (1989); "Principles of naval architecture. Edition: 2nd revision" Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988-89, Vol. 2.
- [5] Cahyaning Ati, Wisnu, 2011, *Analisa Pengaruh Variasi Sudut Rake Propeller B-Series Terhadap Distribbusi Aliran Fluida Dengan Metode CFD*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, ITS: Surabaya.