



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Pengaruh Penambahan *Tip Winglet* dan Variasi Sudut Rake Terhadap Performa Propeller Tipe B4-70

Buyung Vidiarto¹⁾, Ahmad Fauzan Zakki²⁾ Eko Sasmito Hadi³⁾

¹⁾Laboratorium Hidrodinamika

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*)}e-mail : vidibuyung@gmail.com, ahmadfzakki@yahoo.com, ekosasmitohadi@gmail.com

Abstrak

Propeller merupakan salah satu alat penggerak yang di gunakan pada kapal. Dalam perkembangan teknologi perkapalan semakin banyak riset dan pengembangan desain dari propeller dimana bertujuan untuk meningkatkan nilai efisiensi dari propeller tersebut. Banyak faktor yang mempengaruhi dalam pendesainan pada propeller, beberapa contoh faktor tersebut adalah Pitch, Skew angle dan Rake Pada penelitian ini analisa propeller direncanakan dengan penambahan Tip Winglet dan pemvariasian Sudut Rake yang dimuat secara utuh yaitu penulis akan melakukan Analisa penambahan Tip Winglet dan pemvariasian Sudut Rake pada propeller B4-70 menggunakan metode CFD (Computation Fluid Dynamic). Nilai Thrust yang di dapat dari perbandingan propeller B4-70 dengan penambahan Tip Winglet 50mm dan variasi sudut rake 15° mampu meningkatkan nilai Thrust dengan nilai tertinggi yaitu 39930 N dengan persentase 15% dari nilai Thrust propeller B4-70 konvensional.

Penambahan Tip Winglet juga berpengaruh pada Torque propeller dimana terjadi peningkatan secara konstan seiring dengan penambahan ukuran panjang Tip winglet yang digunakan dimana nilai tersebut dapat mencapai hingga 45% dari nilai Torque propeller B4-70 konvensional. Efficiency pada propeller B4-70 dengan penambahan Tip Winglet dan pemvariasian Sudut Rake juga mengalami peningkatan sebesar 5% dari propeller B4-70 konvensional yang di dapat pada model propeller Tip Winglet 50mm dan variasi sudut rake 15° sehingga dari hasil ini dapat di ambil kesimpulan bahwa penggunaan Tip Winglet dan variasi sudut rake sangat mempengaruhi hasil dari Thrust, Torsi dan Efficiency pada suatu propeller.

Kata Kunci : Propeller, B-series, CLT, Thrust, Tip Winglet.

1. PENDAHULUAN

Dalam perkembangan teknologi di bidang perkapalan, terdapat banyak riset dan juga pengembangan dari desain sebuah kapal, dengan tujuan untuk memperoleh nilai efisiensi yang maksimal dari pembangunan sebuah kapal yang berdasarkan pada fungsinya. Aspek-aspek yang perlu diperhatikan dalam mendesain kapal yaitu seperti perencanaan bagian lambung kapal, perencanaan sistem permesinan kapal yang baik, dan perencanaan alat penggerak kapal (propulsor) yang baik.[1]

Salah satu aspek yang perlu diperhatikan dalam pembangunan kapal adalah aspek perencanaan alat penggerak kapal (propulsor). Alat penggerak kapal (*propulsor*) adalah alat gerak yang digunakan kapal untuk berpindah dari satu tempat

ke tempat lainnya. Alat gerak kapal ini kemudian dibedakan menjadi dua, yaitu alat gerak mekanik dan non-mekanik. Alat gerak non-mekanik biasanya digunakan pada kapal konvensional. Dan kebanyakan pada kapal – kapal sekarang sudah menggunakan alat gerak mekanik sebagai penggerakannya.[2]

Salah satu alat gerak mekanik pada kapal adalah *propeller*. *Propeller* memiliki beberapa variasi jenis dan dari masing-masing jenis memiliki karakteristik yang berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan masing-masing jenis kapal. Salah satu jenis *propeller* adalah *B series*. *B-Series* atau lebih dikenal dengan *Wageningen* merupakan *propeller* yang paling sering digunakan terutama pada kapal jenis *merchant ship*. Bentuk dari *propeller B-series* sangatlah sederhana. *Propeller* ini

mempunyai section yang modern dan karakteristik kinerja yang baik. [3]

Perencanaan propeller wajib dilakukan dengan sebaik mungkin, karena sesuai dengan fungsinya, *propeller* akan meneruskan tenaga dari mesin utama guna menghasilkan gaya dorong kapal (*Thrust*), dan gaya dorong maksimal akan memberikan kecepatan kapal yang optimum. *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 sudut rake. Melalui pengujian persyaratan sudut rake dalam setiap pembuatan desain-desain propeller maka akan menghasilkan nilai *thrust* yang berbeda pula, [4]

Penelitian tentang variasi sudut rake telah dilakukan oleh beberapa peneliti, seperti penelitian yang memvariasikan sudut rake pada *propeller B series* dan menunjukkan nilai efisiensi maksimum berada pada variasi sudut rake 15°. [5]

Dan juga pada penelitian yang memvariasikan sudut rake dengan jumlah daun dimana menunjukkan *propeller B series* yang diuji mendapatkan nilai *thrust* maksimal pada sudut rake 12° dan jumlah daun 4 buah. [6]

Seiring dengan berjalannya waktu muncul ide baru yaitu penelitian mengenai modifikasi *propeller* yaitu *Contracted Tip Load Propeller* dimana pada penambahan variasi tersebut bertujuan untuk mendapatkan peningkatan nilai efisiensi 5% - 8% dan pengurangan kavitasi pada propeller. [7]

Serta pada penentuan arah pada Tip juga berpengaruh pada kinerja propeller dimana pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya di dapat arah positive *Tip Propeller* memiliki kinerja yang lebih optimal dan mendapat distribusi tekanan yang lebih baik pada propeller di bandingkan dengan arah negative. [9]

Pada objek penelitian kali ini analisa *propeller* akan direncanakan menggunakan penerapan *Tip Winglet* dan variasi *sudut rake* dengan metode *Contracted Tip Load Propeller* namun tanpa terjadi pengurangan diameter pada propeller.

Dari penjabaran di atas dapat disimpulkan bahwa hal yang menjadi landasan untuk dilakukan penelitian ini adalah bagaimana pengaruh penambahan *Tip Winglet* dengan variasi yang sudah di tentukan terhadap performa *propeller* pada *Thrust*, *Torque* dan juga *Efficiency propeller*, bagaimana perbandingan hasil antara propeller konvensional dan propeller variasi pada simulasi *software CFD*.

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk membandingkan antara propeller B4-70 konvensional dengan propeller B4-70 dengan penambahan *Tip Winglet* dan variasi ukuran sudut rake juga mengetahui pengaruh penambahan *Tip Winglet* dan variasi ukuran sudut rake terhadap *Thrust*, *Torque* dan *Efficiency* pada *propeller B4-70 konvensional*.

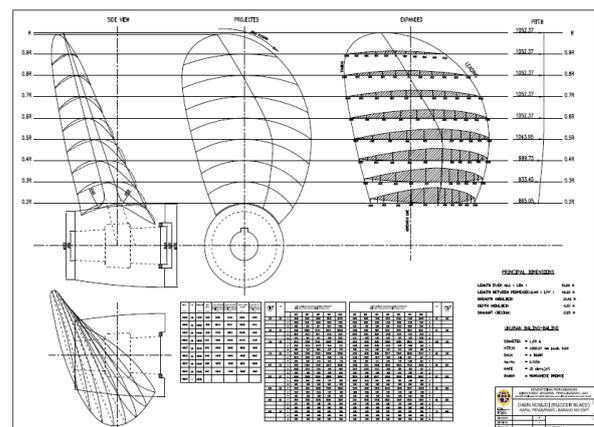
2. METODE

2.1 Objek Penelitian

Data yang dibutuhkan untuk penelitian ini didapatkan dari data primer dan data sekunder yang dimana data primer diperoleh secara langsung dari sumber asli atau pihak pertama, data primer dapat berupa pendapat subjek riset, hasil observasi terhadap sebuah benda, hasil pengujian. Data – data primer yang di kumpulkan antara lain: data *propeller B-series* kapal perintis yang dibangun oleh kementerian perhubungan, data sekunder di peroleh secara tidak langsung, melalui media perantara. Pada umumnya data sekunder berupa bukti, catatan, atau laporan historis yang telah tersusun dalam arsip baik yang dipublikasikan maupun tidak.

Tabel 1. Ukuran Utama *Propeller*

No	Dimensi
1	Tipe
2	Diameter
3	<i>Pitch</i>
4	<i>Blade Area Ratio</i>
5	<i>Rake Angle</i>
6	<i>Number Of Blades</i>
7	<i>Blade Section</i>
8	Kecepatan Putaran



Gambar 1. *Propeller B4-70*

2.2. Variabel Penelitian

Pada penelitian ini, penulis akan menentukan variabel menjadi 2, yaitu variabel tetap dan variabel berubah.

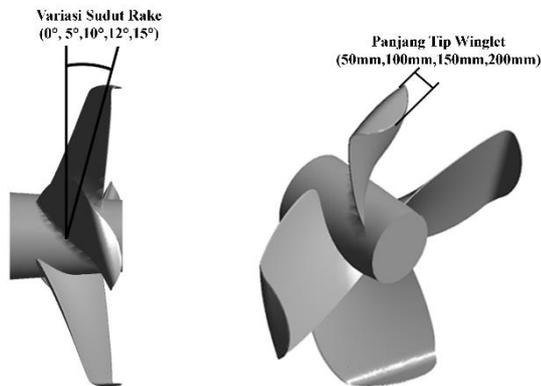
Dimana variable tersebut akan ditetapkan sebagai berikut:

Variabel Tetap :

- Ukuran Utama *Propeller*
- Diameter *Propeller*

Variabel Perubah:

- Panjang Tip (50mm,100mm,150mm,200mm)
- Sudut Rake ($0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 15^\circ$)



Gambar 2. Sketsa Variabel Perubah

Tabel 2. Penerapan variabel perubah terhadap model propeller B4-70

No	Sudut Rake ($^\circ$)	Panjang Tip (mm)
1	Rake 0°	50 mm
		100 mm
		150 mm
		200 mm
2	Rake 5°	50 mm
		100 mm
		150 mm
		200 mm
3	Rake 10°	50 mm
		100 mm
		150 mm
		200 mm
4	Rake 12°	50 mm
		100 mm
		150 mm
		200 mm
5	Rake 15°	50 mm
		100 mm
		150 mm
		200 mm

2.3 Propeller B-Series

Propeller B-Series atau lebih dikenal dengan Wageningen merupakan propeller yang paling sering digunakan terutama pada kapal jenis merchant ship.

Bentuk dari propeller B-Series sangatlah sederhana. Propeller ini mempunyai section yang modern dan karakteristik kinerja yang baik. Pada umumnya, propeller B-Series sendiri mempunyai variasi P/D 0.5 sampai 1.4, Z 2 sampai 7, AE/AO 0.3 sampai 1.05.

Di bawah ini adalah karakteristik dasar dari propeller B-series:

- Berdiameter 250 mm dan RH/R 0.167 (RH adalah jari-jari hub)
- Memiliki distribusi radial pitch yang konstan
- Sudut rake sampai 15° dengan distribusi rake linier
- Kontur blade yang cukup lebar Mempunyai segmental tip blade section dan aerofoil section pada jari-jari dalam.

2.4 CLT (Contracted and Loaded Tip)

Contracted and Loaded Tip merupakan salah satu kemajuan inovasi dibidang perkapalan yang tertuju pada propeller dan muncul pada 1976 setelah Studi dari G. Peres Gomez (Gennaro dan Gonzalez- Adalid 2012), dan mulai dikembangkan pada tahun 1987 an oleh Perusahaan SISTEMAR dari spanyol. Propeller CLT memiliki desain yang ber beda darip propeller konvensional, yang paling mencolok adalah pajang ujung chord dan panjang end plate. Tujuan utama CLT propeller adalah untuk meningkatkan efisiensi open water dengan mengurangi angle of attack sehingga mengalami peningkatan efisiensi 5-8% dari seluruh rentang operasional propeller. [7]

CLT propeller memiliki beberapa kelebihan dibanding propeller biasa, antara lain:

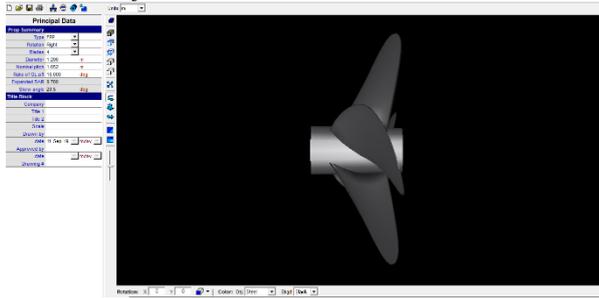
- Efisiensi lebih tinggi, sehingga mengurangi penggunaan bahan bakar, mengurangi emisi, dan meningkatkan kecepatan.
- Mengurangi kavitasasi dan *tip vortex*, sehingga mengurangi kebisingan dan getaran.
- Gaya dorong lebih besar, meskipun memiliki diameter yang lebih kecil.
- Kemampuan manuver yang lebih baik.

Tabel 3. Perbandingan CLT dengan Kovenisional

	Conventional	Kappel	CLT
Diameter	100%	97%	95%
Developed area	100%	90%	70%
Propeller speed	100%	100%	100%
Ship speed	100%	100%	100%
Power at design	100%	97%	92%

2.5 Pembuatan Model

Data ukuran propeller digunakan untuk pembuatan model 3D dengan menggunakan bantuan *Software modeler*.



Gambar 3. Permodelan Propeller

2.6 Validasi Numerik

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 generalisasikan untuk keseluruhan bentuk atau tipe dari baling-baling. Validasi dalam penelitian ini digunakan menentukan *parameter setup* yang dipakai dalam simulasi sudah tepat. Dengan acuan pembandingan nilai yang digunakan yaitu perhitungan Grafik pada Diktat Analisa KT-KQ-J Wageningen B-series Propeller[12].

Model persamaan untuk karakteristik kinerja baling-baling kapal dapat dihitung dengan persamaan :

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad (1)$$

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

$$J = \frac{Va}{nxD} \quad (3)$$

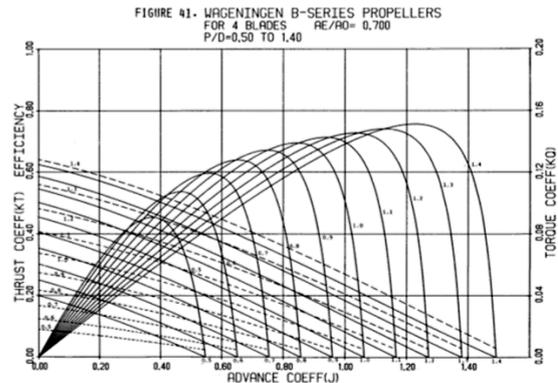
Untuk nilai efisiensi *propeller* pada *open water* diberikan persamaan:

$$\eta_0 = \frac{J \times K_T}{2 \times \pi \times K_Q} \quad (4)$$

Dimana:

KT = Koefisien gaya dorong baling- Baling
KQ = Koefisien torsi baling-baling

J = Koefisien advanced baling- baling
Va = kecepatan advanced
D = diameter propeller
n = putaran propeller
T = thrust propeller
Q = torque propeller
 ρ = massa jenis fluida (fluid density)
 η_0 = Efisiensi baling-baling



Gambar 4. Grafik KT-KQ-J Wageningen B-series Propeller

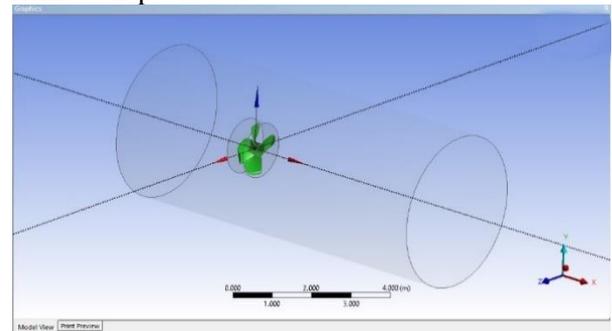
2.7 Simulasi CFD (*Computation Fluid Dynamic*)

Proses simulasi numerik pada *Computation Fluid Dynamic* dimulai dari pembuatan model lambung kapal. Pemodelan dengan menggunakan program *Rhinoceros 5.0*, kemudian *file* di-*export* dalam bentuk *file .igs*

Setelah model selesai dibuat selanjutnya dilanjutkan menggunakan *Software* simulasi numerik berbasis *Computation Fluid Dynamic*, secara garis besar langkah – langkah simulasi numerik ini di bagi pada beberapa tahap antara lain:

2.7.1 Geometry

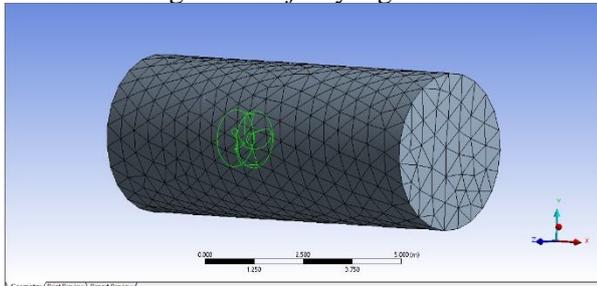
Tahap *geometry* adalah tahap pemodelan yaitu tahap penentuan model yang akan dianalisa. Pembuatan dan pengecekan model dapat dilakukan langsung di tahap ini maupun menggunakan aplikasi modeler lainnya. Pada tahap ini juga di gunakan untuk pembuat *domain fluida* pengujian, *interface domain*, *Boolean object*, dan pemberian nama setiap *domain*.



Gambar 5. Tahap Geometry

2.7.2 Mesh

Tahap Meshing pada model adalah langkah setelah domain fluida atau *boundary building* terbentuk. Untuk itu lebih dahulu menentukan ukuran element yang akan di gunakan, namun perlu di ingat bahwa semakin kecil elemen yang dibuat maka jumlah elemen yang terbentuk semakin banyak sehingga waktu *running* akan semakin lama dan menghasilkan *file* yang besar.



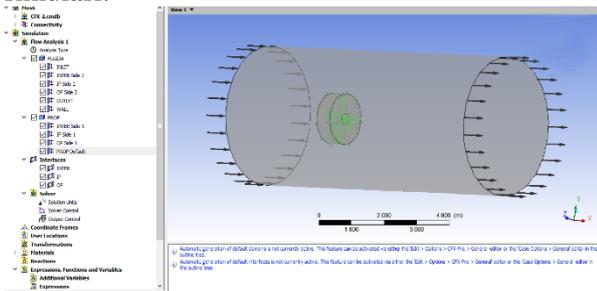
Gambar 6. Mesh Set-up

Tabel 4 . Perbandingan Statistik Mesh

No	Jenis	Node	Elemen	Jumlah
1	Propeller Asli	70382	420199	490581
2	Propeller Tip Winglet	82796	445459	528255

2.7.3 Setup

Setup merupakan tahapan yang berisi tentang penentuan semua hal yang berkaitan dengan simulasi. Set-up yang digunakan merupakan kriteria yang telah di validasi. Pada tahap ini dibagi menjadi beberapa langkah, antara lain *default domain, solver, pembuatan expression*, dan lain-lain. Pada tahap ini juga ditentukan tingkat eror simulasi.



Gambar 7. Boundary Set-up

2.7.4 Solution

Solution merupakan tahap lanjutan setelah tahap *pre-processor* selesai dilakukan. Dalam tahap ini proses perhitungan dilakukan berupa iterasi dari persamaan dasar dinamika fluida pada CFD hingga didapatkan hasil yang *convergence*.

2.7.5 Result

Setelah proses *running* selesai maka hasil dapat kita liat ditahap *Solution*. Pada tugas akhir ini

hasil yang diinginkan berupa nilai *thrust*, nilai *torque* dan efisiensi *propeller*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan *propeller* dalam menganalisa pengaruh penambahan *Tip Winglet* dan variasi sudut rake terhadap *Thrust, Torque* dan *Efficiency propeller* diperlukan sebagai lanjutan dari hasil uji eksperimen sebagai salah satu cara untuk mengkalibrasi hasil uji eksperimen. Pada uji eksperimen skala pada model yang digunakan yaitu 1:1.

Pemodelan dianalisa nilai *Thrust, Torque* dan *Efficiency* dengan menggunakan metode CFD, dimana hasil perhitungan divalidasi dengan hasil perhitungan dari uji eksperimen *Open Water Test*.

3.1 Permodelan Propeller

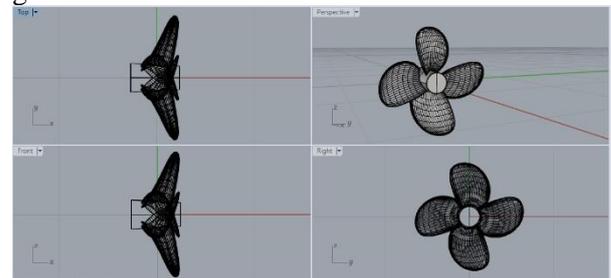
3.1.1 Ukuran Utama Propeller

Tabel 5. Ukuran Utama Propeller

No	Dimensi
1	Tipe B4-70
2	Diameter 1,29 m
3	Pitch 1,052 m
4	Blade Area Ratio 0,552
5	Rake Angle 15°
6	Number Of Blades 4
7	Blade Section B-Series
8	Kecepatan Putaran 480rpm

3.1.2 Permodelan Propeller

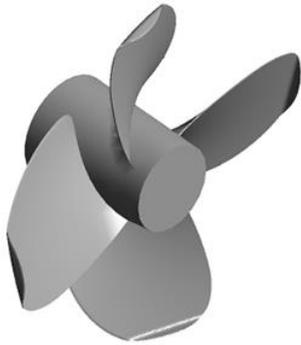
Data ukuran propeller diinput dan langsung dilakukan perhitungan guna menghasilkan koordinat propeller 3D yang kemudian di lanjutkan dengan mendesain propeller hingga menjadi model 3D yang solid pada *Software modeler* yang kita gunakan.



Gambar 8. Hasil Permodelan Propeller B4-70

3.1.3 Pemodelan Propeller B4-70 dengan Tip Winglet

Pembuatan model Propeller menggunakan software modeler dimana hasil koordinat 3D dari perhitungannya yang telah dilakukan sebelumnya, kemudian di lanjutkan dengan mendesain ulang dan melakukan penambah *Tip Winglet* pada *Propeller*.



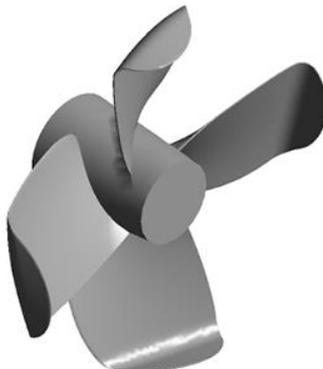
Gambar 9. Variasi Tip Winglet 50mm



Gambar 10. Variasi Tip Winglet 100mm



Gambar 11. Variasi Tip Winglet 150mm



Gambar 12. Variasi Tip Winglet 200mm

3.2 Simulasi CFD (*Computation Fluid dynamic*)

Hasil dari permodelan pada *Propeller B4-70* kemudian dilanjutkan analisa menggunakan *Software* simulasi berbasis *Computation Fluid Dynamic*, hasil yang di dapat tahap ini berupa nilai *Thrust* dan *Torque* yang valid dan dapat terlihat hasil yang sesuai dengan standar yang diinginkan.

3.4 Validasi Setup

Pada penelitian ini, Validasi Setup dilakukan dengan tujuan untuk menentukan *parameter setup* yang tepat untuk menganalisa variasi model propeller B4-70. Dimana dilakukan perbandingan hasil dari analisa *software* dan uji hasil perhitungan. Dengan maksimal nilai error untuk validasi antara CFD dengan uji hasil perhitungan $K_T - K_Q - J$ adalah 5%.

Berikut data dan hasil perhitungan :

Tabel 6. Perbandingan Nilai *Thrust* Perhitungan *Wageningen* Dengan Hasil Simulasi CFD

No	Kecepatan Rotasi	Hasil Perhitungan (N)	Simulasi CFD (N)	Error (%)
1	480.51	34595	35376	2.30%

Tabel 7. Perbandingan Nilai *Torque* Perhitungan *Wageningen* Dengan Hasil Simulasi CFD

No	Kecepatan Rotasi	Hasil Perhitungan (N.m)	Simulasi CFD (N.m)	Error (%)
1	480.51	6810	6530	4.10%

Dengan nilai error di bawah 5%, maka *parameter setup* yang digunakan bisa diterapkan dalam simulasi variasi propeller B4-70.

3.5 Hasil dan Analisa *Performance Propeller*

3.5.1 Analisa Perbandingan *Thrust Propeller*

Analisa dilakukan untuk melihat perubahan yang terjadi terhadap nilai *thrust* di karenakan penambahan Tip winglet dan variasi sudut *rake* propeller.

Tabel 8. Nilai Thrust (N) Tip Winglet *Propeller* hasil simulasi CFD

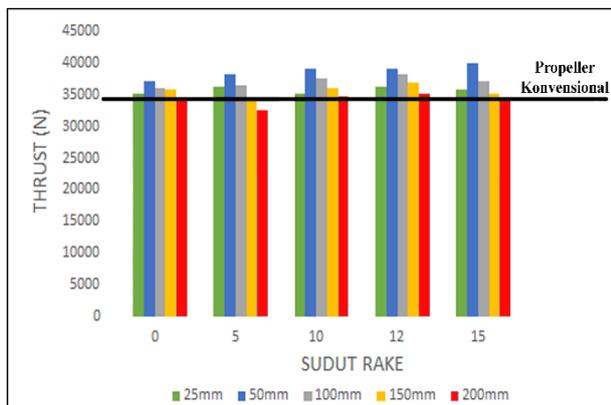
No	Sudut Rake (Deg)	Panjang Tip 25mm	Panjang Tip 50mm	Panjang Tip 100mm	Panjang Tip 150mm	Panjang Tip 200mm
1	0°	35091	37141	36034	35817	34349
2	5°	36291	38280	36452	33898	31426
3	10°	35250	39007	37558	35997	34770
4	12°	36254	39167	38237	36939	35084
5	15°	35782	39930	37176	35172	34161

Berdasarkan hasil simulasi CFD *Thrust Propeller* pada table 8 nilai *Thrust* tertinggi didapatkan pada propeller B4-70 rake 15° *Tip Winglet* 50mm dengan nilai *Thrust* 39930 N sedangkan nilai *Thrust* terendah didapatkan pada propeller B4-70 rake 5° *Tip Winglet* 200mm dengan nilai *Thrust* 31426 N.

Hasil analisa *Thrust* dari simulasi CFD selanjutnya di bandingkan setiap variasi sudut *rake* dan Panjang *Tip Winglet* dengan model konvensional untuk mengetahui selisih besaran *thrust* yang terjadi.

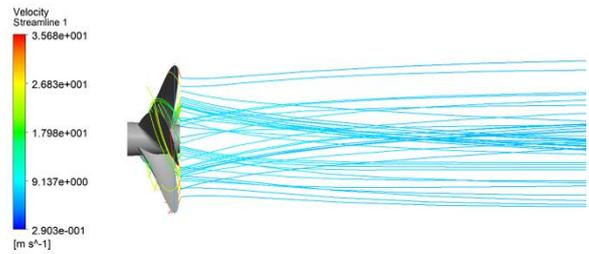
Tabel 9. Presentase Perbandingan Nilai *Thrust*

No	Sudut Rake (Deg)	Panjang Tip 25mm	Panjang Tip 50mm	Panjang Tip 100mm	Panjang Tip 150mm	Panjang Tip 200mm
1	0°	1.4%	7.4%	4.2%	3.5%	-0.7%
2	5°	4.9%	10.7%	5.4%	-0.2%	-6.0%
3	10°	1.9%	12.8%	8.6%	4.1%	0.5%
4	12°	4.8%	13.2%	10.5%	6.8%	1.4%
5	15°	3.4%	15.4%	7.5%	1.7%	-1.3%

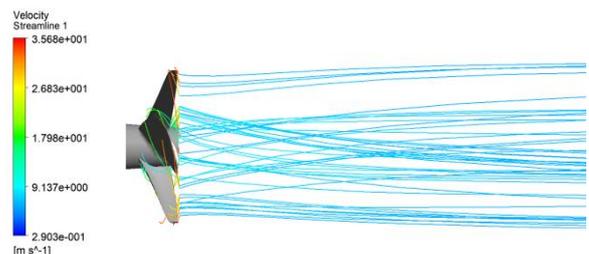


Gambar 13. Grafik nilai *Thrust* hasil simulasi CFD

Gambar 13. menunjukkan grafik nilai *Thrust* dengan penambahan *Tip Winlet* dan variasi sudut *rake*. Semakin bertambahnya sudut *rake* memberikan nilai *thrust* yang lebih baik dari nilai konvensional (model asli), namun dapat dilihat dengan penambahan ukuran pada *Tip winglet* menyebabkan nilai *Thrust* meningkat namun tidak maksimal, seperti yang di ditampilkan pada grafik variasi sudut *rake* dengan *Tip winglet* 50mm dapat meningkatkan nilai *Thrust* hingga 15.4%, lebih tinggi daripada nilai *thrust* yang dihasilkan dengan variasi sudut *rake* dan *Tip winglet* lain nya.



Gambar 14. *Streamline velocity* pada Model Propeller B4-70 Tanpa *Tip Winglet*



Gambar 15. *Streamline velocity* pada Model Propeller B4-70 Rake 15° *Tip Winglet* 50 mm

3.6 Analisa perbandingan *Torque Propeller*

Tabel 10. Nilai *Torque (Nm) Tip Winglet Propeller* hasil simulasi CFD

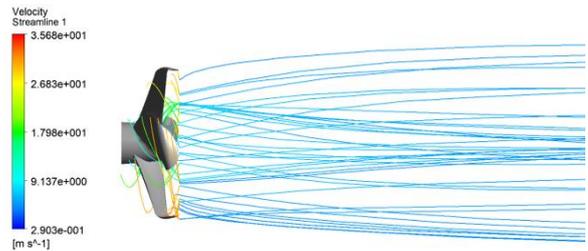
No	Sudut Rake (Deg)	Panjang Tip 25mm	Panjang Tip 50mm	Panjang Tip 100mm	Panjang Tip 150mm	Panjang Tip 200mm
1	0°	7155	7524	8354	9243	9780
2	5°	7265	7463	8249	9143	9819
3	10°	7325	7420	8226	8968	9856
4	12°	7150	7304	8085	8993	9555
5	15°	7141	7270	8014	8589	9422

Berdasarkan hasil simulasi CFD *Torque Propeller* pada table 9 nilai *Torque* tertinggi di dapatkan pada model propeller B4-70 rake 10° *Tip Winglet* 200mm dengan nilai *Torque* 9856 Nm, sedangkan nilai *Torque* terendah didapatkan pada model propeller B4-70 rake 15° *Tip Winglet* 50mm dengan nilai *Thrust* 7270 NM.

Hasil analisa *Torque* dari simulasi CFD selanjutnya di bandingkan setiap variasi sudut *rake* dan Panjang *Tip Winglet* dengan model konvensional untuk mengetahui selisih besaran *Torque* yang terjadi.

Tabel 11. Presentase Perbandingan Nilai *Torque*

No	Sudut Rake (Deg)	Panjang Tip 25mm	Panjang Tip 50mm	Panjang Tip 100mm	Panjang Tip 150mm	Panjang Tip 200mm
1	0°	5.1%	10.5%	22.7%	35.7%	43.6%
2	5°	6.7%	9.6%	21.1%	34.3%	44.2%
3	10°	7.6%	9.0%	20.8%	31.7%	44.7%
4	12°	5.0%	7.3%	18.7%	32.1%	40.3%
5	15°	4.9%	6.8%	17.7%	26.1%	38.4%

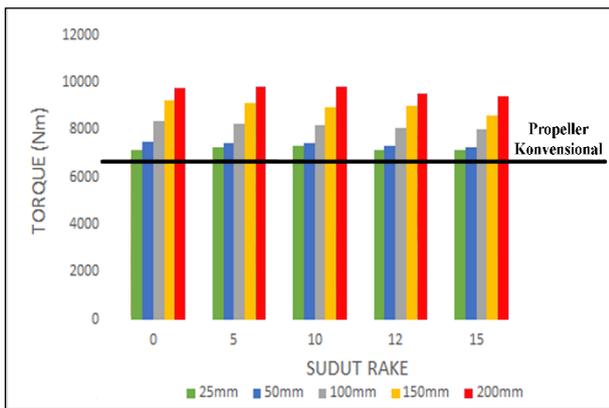


Gambar 18. *Streamline velocity* pada Model Propeller B4-70 Rake 10° Tip Winglet 200 mm

3.7 Analisa *Efficiency Propeller*

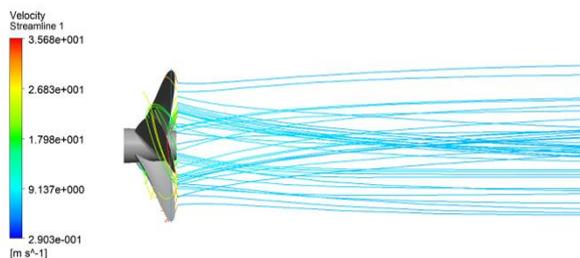
Tabel 12. Nilai *Efficiency (%) Tip Winglet Propeller* hasil simulasi CFD

No	Sudut Rake (Deg)	Panjang Tip 25mm	Panjang Tip 50mm	Panjang Tip 100mm	Panjang Tip 150mm	Panjang Tip 200mm
1	0°	57.0%	57.4%	50.2%	45.1%	40.8%
2	5°	58.1%	59.6%	51.4%	43.1%	37.2%
3	10°	56.0%	61.1%	53.1%	46.7%	41.0%
4	12°	59.0%	62.4%	55.0%	47.8%	42.7%
5	15°	58.3%	63.9%	53.9%	47.6%	42.2%



Gambar 16. Grafik nilai *Torque* hasil simulasi CFD

Gambar 16. menunjukkan grafik nilai *Torque* dengan penambahan *Tip Winglet* dan variasi sudut *rake*. Dari hasil tersebut semakin bertambahnya ukuran dari *Tip Winglet* memberikan nilai *Torque* yang lebih besar dari nilai konvensional (model asli), dapat dilihat dengan penambahan ukuran pada *Tip winglet* menyebabkan nilai *Torque* meningkat secara konstan. Nilai *Torque* tertinggi terdapat pada *propeller* variasi sudut *rake* dengan *Tip winglet* 200mm dimana nilai *Torque* meningkatkan hingga 44.7%, lebih tinggi daripada nilai *Torque* yang dihasilkan dengan variasi sudut *rake* dan *Tip winglet* lain nya.



Gambar 17. *Streamline velocity* pada Model Propeller B4-70 Tanpa *Tip Winglet*

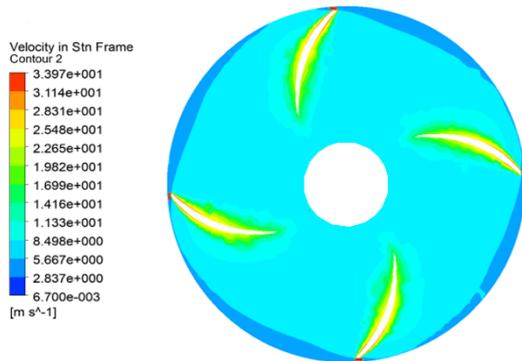


Gambar 19. Grafik nilai *Efficiency* hasil simulasi CFD

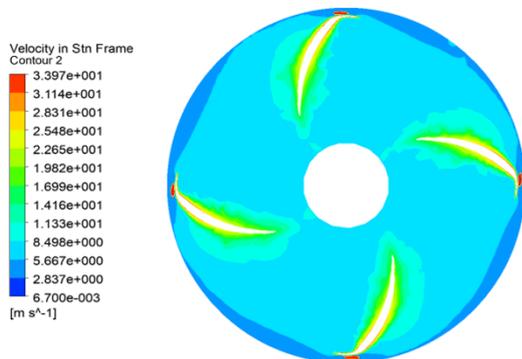
Berdasarkan hasil pengujian pada table 12 nilai *Efficiency* tertinggi didapatkan pada model propeller B4-70 rake 15° *Tip Winglet* 50mm dengan nilai *Efficiency* 63.9%. Perbandingan *efficiency* antara *propeller B4-70* konvensional dengan *propeller B4-70* rake 15° *Tip Winglet* 50mm mendapat nilai sebesar 5%. Dimana *Efficiency* dari propeller konvensional sebelum mengalami variasi mendapat nilai sebesar 59.1%. Hasil ini diperkuat oleh pernyataan bahwa penggunaan *Tip Winglet* dapat meningkatkan *Efficiency propeller* yang mencapai 5% - 8%. [7]

Pada gambar 19 dapat disimpulkan nilai *efficiency* pada penambahan variasi yang dilakukan kebanyakan mengalami penurunan nilai *efficiency*.

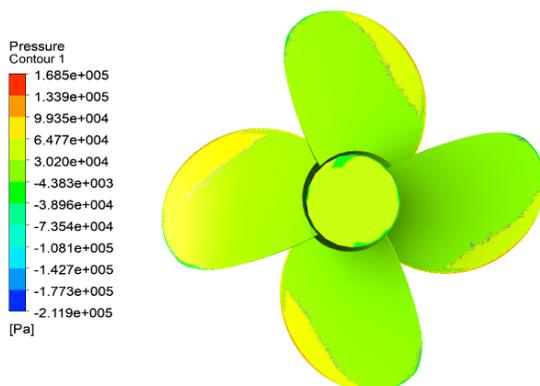
Dari hasil tersebut tertuju meningkatnya nilai efisiensi *propeller* yang dipengaruhi oleh nilai J , K_T , K_Q . Nilai K_T , K_Q diperoleh dari nilai *Thrust* dan *Torque propeller*. Dalam hal ini nilai J tetap, nilai K_T dan K_Q mengalami perubahan, namun dari beberapa variasi yang dilakukan, kenaikan nilai K_T dan K_Q tidak sebanding, sehingga nilai efisiensinya tidak maksimal bahkan mengalami penurunan.



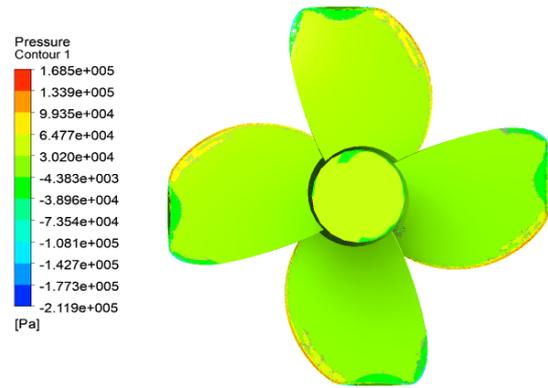
Gambar 20. Axial velocity propeller konvensional



Gambar 21. Axial velocity propeller B4-70 rake 15° Tip Winglet 50mm



Gambar 22. Contour pressure propeller konvensional



Gambar 23. Contour pressure propeller B4-70 rake 15° Tip Winglet 50mm

Pada gambar 22 dan 23 dapat dilihat perbandingan *contour pressure* pada *propeller* dengan penambahan variasi Tip winglet dengan *propeller* konvensional, hasil yang di dapat pada *propeller* dengan penambahan Tip Winglet menghasilkan tingkat kavitasi yang rendah dari pada *propeller* konvensional.

Hal ini di perkuat dengan pernyataan dari *study* Analisa “Effect of Various Winglets On The Performance of Marine Propeller,” [14]. Dimana Tip Winglet bermanfaat untuk menghasilkan volume kavitasi yang lebih sedikit ketika ujung dari Tip Winglet mengarah kepada sisi tekanan *propeller* dengan perubahan sudut yang kecil, sehingga terjadi penurunan tekanan pada sisi tekan *propeller* dengan Tip Winglet. Oleh karena itu tingkat kavitasi yang di hasilkan pada sisi propeller penambahan Tip Winglet lebih berkurang di bandingkan dengan *propeller* konvensional.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan Hasil analisa yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penambahan Tip Winglet dan variasi sudut rake sangat berpengaruh terhadap perubahan nilai *Thrust*, *Torque* dan *Efficiency* dari Propeller B4-70.

Semakin bertambahnya sudut rake memberikan nilai *thrust* yang lebih baik dari nilai konvensional. *Propeller* dengan penambahan Tip Winglet dan variasi sudut rake mampu meningkatkan nilai *Thrust* dengan nilai tertinggi yaitu 39930 N yang terdapat pada *propeller* B4-70 rake 15° Tip Winglet 50mm dengan persentase 15.4% dari nilai *Thrust* propeller B4-70 konvensional.

Untuk nilai *Torque* dari Analisa yang dilakukan di dapat hasil bahwa dengan penambahan Tip Winglet terjadi peningkatan secara konstan terhadap *Torque propeller* seiring dengan bertambah nya ukuran dari Tip winglet, dimana nilai tertinggi yang di peroleh 9856 Nm

dengan persentase penambahan 45% pada model *propeller* B4-70 rake 10° *Tip Winglet* 200mm yang dapat dilihat dari hasil simulasi CFD pada table 9.

Dari hasil analisa *Efficiency* di dapat bahwa nilai dari analisa yang dilakukan kebanyakan mengalami penurunan nilai *efficiency*. Hal tersebut terjadi karena dari beberapa variasi yang di lakukan, kenaikan nilai K_T dan K_Q tidak sebanding, Namun peningkatan terbesar terjadi pada *Proppeller B4-70 rake 15° Tip Winglet 50mm* sebesar 5% dari *efficiency* propeller B4-70 konvensional dan kemudian semakin menurun ketika besar sudut *rake* berkurang dan Panjang dari *Tip Winglet* bertambah.

5. SARAN

Guna untuk mengembangkan dan melengkapi penelitian ini, penulis memberikan saran untuk memvariasikan kecepatan putar *propeller* yang di gunakan oleh penulis, serta menentukan *preasure* yang di hasilkan oleh penambahan *Tip Winglet* terhadap *propeller*, Serta dapat dilakukannya perubahan sudut dari *Tip Winglet* dan ukuran dari geometri propeller juga dapat dilakukan agar mendapat hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. F. Molland, *The Maritime Engineering Reference Book*. UK: Oxford University, 2010.
- [2] P. Manik, *Buku Ajar Propulsi Kapal*. Semarang: Jurusan Teknik Perkapalan, UNDIP, 2015.
- [3] Muh. Zainal Abidin, Surjo W. Adji and Irfan Syarief Arief, "Analisa Performance Propeller B-Series dengan Pendekatan Structure dan Unstructure Meshing", *JURNAL TEKNIK ITS* Vol. 1, No. 1, (Sept. 2012)
- [4] G. Kuiper, "New developments and propeller design," *J. Hydrodyn.*, vol. 22, no. 5 SUPPL. 1, pp. 7–16, 2010.
- [5] G. P. Wibowo, D. Chrismianto, and B. A. Adietya, "Analisa Nilai Thrust Optimum Propeler B4-70, Ka4-70 Dan Au4-59 Pada Kapal Tugboat Pelabuhan Paket-Ii 2x1850hp Dengan Variasi Sudut Rake Menggunakan CFD," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 1, pp. 27–37, 2017.
- [6] A. Trimulyono and Kiryanto, "Analisa Efisiensi Propeller B-Series Dan Kaplan Pada Kapal Tugboat Ari 400 Hp Dengan Variasi Jumlah Daun," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 12, no. 2, pp. 112–120, 2015.
- [7] J. Adalid and G. Gennaro, "Latest experiences with Contracted and Loaded Tip (CLT) propellers," *Sustain. Marit. Transp. Exploit. Sea Resour.*, pp. 47–53, 2013.
- [8] G. Gennaro and J. Gonzalez-Adalid, "Improving the propulsion efficiency by means of Contracted and Loaded Tip (CLT) propellers," *Soc. Nav. Archit. Ma-rine Eng. Athens, Greece*, 2012.
- [9] Meysam Maghareh, Hassan Ghassemi, "Propeller Efficiency Enhancement by the Blade's Tip Reformation" *American Journal of Mechanical Engineering*, 2017, Vol. 5, No. 3, 70-75
- [10] A. Sánchez-Caja, J. González-Adalid, M. Pérez-Sobrino, and I. Saisto, "Evaluation of endplate impact on tip loaded propeller performance using a RANSE solver," *Int. Shipbuild. Prog.*, vol. 61, no. 1–2, pp. 103–128, 2014.
- [11] A. Ommundsen, "Unconventional Propeller Tip Design," no. June, 2015.
- [12] M. M. Bernitsas, *KT KQ and Efficiency Curves for the Wageningen B-Series Propellers*. Michigan: University of Michigan, 1981.
- [13] Michael Brown¹, Antonio Sánchez-Caja², Juan G. Adalid³., "Improving Propeller Efficiency Through Tip Loading," *Naval Hydrodynamics Hobart, Tasmania, Australia*, 2-7 November 2014
- [14] Gao H, Zhu W, Liu Y, Yan Y., "Effect of Various Winglets On The Performance of Marine Propeller," *Applied Ocean Research*, vol. 86 (2019)