



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Performance Propeller Tipe KA4-70 dengan Variasi Flap Angle End Plate dan Sudut Rake

Muhammad Dhefa Maulana¹⁾, Ahmad Fauzan Zakki²⁾, Parlindungan Manik³⁾

¹⁾Laboratorium Hidrodinamika

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

^{*)}e-mail : dhefa09@gmail.com, ahmadfzakki@yahoo.com, parlin1974@yahoo.com,

Abstrak

Kaplan Series merupakan jenis propeller yang sering digunakan pada kapal berdaya dorong (*thrust*) besar. Perencanaan propeller untuk mendapatkan nilai *thrust* maksimum, *torque* minimum, serta efisiensi yang tinggi, diberikan variasi-variasi, seperti variasi jumlah daun, sudut rake, penambahan nozzle hingga pemasangan endplate pada ujung daun propeller. Penelitian ini, memvariasikan sudut rake propeller dengan flap angle endplate, tanpa pengurangan diameter propeller, untuk mengetahui performance propeller Kaplan Ka4-70 series yang terbaik, dengan pendekatan numerik berbasis software CFD. Hasil simulasi model dengan penerapan variasi sudut rake dan flap angle endplate memberikan hasil nilai *thrust*, *torque*, serta efisiensi yang meningkat dibandingkan nilai dari performa kaplan konvensional. Nilai *thrust* maksimum diperoleh pada variasi rake 6° flap angle endplate 0°, dengan panjang endplate 100mm, menghasilkan nilai 139835 N. Nilai *torque* minimum diperoleh pada variasi rake 15° flap angle endplate 20°, dengan panjang endplate 50mm sebesar 41452 N.m. Perhitungan efisiensi menunjukkan variasi rake 6° flap angle endplate 0° menghasilkan efisiensi terbaik sebesar 0.5514 dengan panjang endplate 50mm.

Kata Kunci : Kaplan Series, Performance propeller, Endplate, Flap Angle, CFD

1. PENDAHULUAN

Riset dan pengembangan desain sebuah kapal banyak dilakukan sejalan dengan perkembangan teknologi. Kegiatan tersebut bertujuan mendapatkan perencanaan desain kapal yang baik, terutama pada aspek lambung, sistem permesinan, dan sistem alat gerak kapal. [1].

Alat gerak kapal dibedakan menjadi dua, mekanik dan non mekanik. Alat gerak non mekanik biasanya digunakan pada kapal-kapal konvensional. Sedangkan pada kapal – kapal sekarang, banyak yang menggunakan alat gerak mekanik sebagai penggerakannya, salah satunya propeller[2].

Propeller memiliki beberapa variasi jenis dan masing-masing jenis memiliki karakteristik yang berbeda sesuai dengan kebutuhan jenis kapal. Salah satu jenis propeller adalah Kaplan Series. Kaplan memiliki karakteristik yang sangat baik untuk digunakan pada kapal bertenaga besar dan memiliki kecepatan berlayar yang rendah[3].

Sudut rake merupakan salah satu persyaratan yang perlu diperhatikan pada desain propeller guna mendapatkan *thrust* maksimal. Melalui pengujian persyaratan sudut rake dalam setiap pembuatan desain-desain propeller maka akan menghasilkan nilai *thrust* yang berbeda pula[4].

Penelitian tentang sudut rake pada jenis Kaplan series telah dilakukan oleh beberapa peneliti, seperti penelitian yang memvariasikan sudut rake pada propeller Kaplan KA4-70 dengan variasi sudut 0°,3°,6°,9°,12°,dan15° dan menunjukkan nilai *thrust* maksimum berada pada variasi sudut rake 6° karena dengan penambahan kort nozzle[5]. Penelitian lain memvariasikan sudut rake dengan variasi 0°,10°,12° dengan jumlah daun 4 dan 5 buah, dimana menunjukkan propeller Kaplan yang di uji mendapatkan nilai *thrust* maksimal pada sudut rake 0° dan jumlah daun 5 buah[6].

Ide baru dalam peningkatan efisiensi propeller, salah satunya yaitu pada jenis propeller

tipe *Kaplan Series* ditambahkan *end plate* pada tip propeller di kedua sisi *propeller*[7].

Penelitian[7] menunjukkan penggunaan *end plate* pada *suction side* tidak memberi dampak yang baik terhadap kinerja *propeller*, sehingga dilakukan pengembangan lebih lanjut dengan menggunakan *end plate* hanya pada *pressure side*[8].

Penelitian lain dengan memvariasikan sudut *end plate* terhadap daun baling-baling jenis CLT dengan variasi 0° , 15° , 30° dan pengurangan diameter menunjukkan sudut 0° memiliki efisiensi tinggi, namun pada penelitian tersebut tidak mencantumkan nilai sudut *rake* yang dipakai dalam penelitian tersebut[9]. Penelitian lainnya memvariasikan ukuran panjang *endplate* dan diameter *propeller* jenis Kaplan dan pada penelitian ini sudut *endplate* yang digunakan adalah 0° dan variasi sudut *rake* 0° dan 15° , dimana menunjukkan pengurangan diameter menjadi 0,975R dan penambahan variasi panjang *endplate* sebesar 50mm, dan sudut *rake* 15° memberikan nilai *thrust* dan efisiensi lebih besar dari model konvensional [10].

Penelitian kali ini direncanakan menganalisa *propeller Kaplan Series KA4-70* dengan modifikasi sudut *rake propeller* serta sudut *end plate (flap angle)*, dan tanpa mengurangi diameter asli untuk mengetahui *performance propeller* akibat penerapan variasi tersebut.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh sudut *end plate* dan sudut *rake propeller* terhadap *thrust* serta *torque* dan efisiensi yang terjadi pada *propeller Ka4-70 konvensional* dan mengetahui perbandingan dari hasil variasi sudut *end plate* dan sudut *rake propeller* pada *propeller Ka4-70 konvensional*.

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Data yang diperlukan dalam penelitian ini bersifat data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari sumber asli atau pihak pertama, data primer dapat berupa pendapat subjek riset, hasil observasi terhadap sebuah benda, atau hasil pengujian. Data primer yang di kumpulkan yaitu ukuran utama *propeller*.

Data sekunder merupakan data pendukung yang diperoleh dari literatur (buku, jurnal, internet, dan data yang didapat pada penelitian sebelumnya). Objek yang diteliti adalah propeller tipe Kaplan, yang ditunjukkan pada data, sebagai berikut:

Tabel 1. Ukuran Utama *Propeller*

No		Dimensi
1	Tipe	Ka4-70
2	Diameter	2,2 m
3	<i>Pitch</i>	0,881 m
4	<i>Blade Area Ratio</i>	0,7
5	<i>Number Of Blades</i>	4
6	<i>Blade Section</i>	<i>Kaplan Series</i>
7	Kecepatan Putaran Optimum	287 rpm
8	Sudut <i>Rake</i>	0°

2.2. Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini terbagi menjadi dua variabel, yaitu variabel tetap dan variabel berubah. Variabel tetap yaitu data ukuran utama *propeller*, variabel berubah yaitu sudut *rake* propeller dan *endplate*

2.3. Propeller dengan *Endplate*

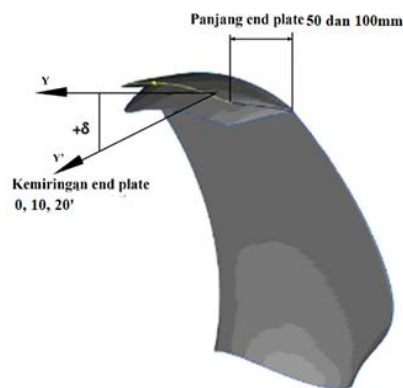
G.P.Gomez menciptakan *TVF Propeller* atau *Tip Vortex Free Propeller* menggunakan jenis daun Kaplan dengan *end plate*[7] tahun 1976, yang kemudian Propeller dengan *endplate* mulai dikenal. Gomez berlanjut membangun SISTEMAR untuk mengembangkan propeller dengan *end plate* yang disebut *CLT (Contracted and Loaded Tip)*.

Kelebihan jenis *CLT* ialah: Efisiensi lebih tinggi, Mengurangi kavitasi dan *tip vortex*, Gaya dorong lebih besar, meskipun memiliki diameter yang lebih kecil, dan kemampuan manuver yang lebih baik.

Terdapat beberapa variasi pemasangan *endplate*[11], yaitu ; *Plate Contraction, Flap Angle, Plate Swept, dan Plate Cutting*

Penelitian ini variasi yang di terapkan;

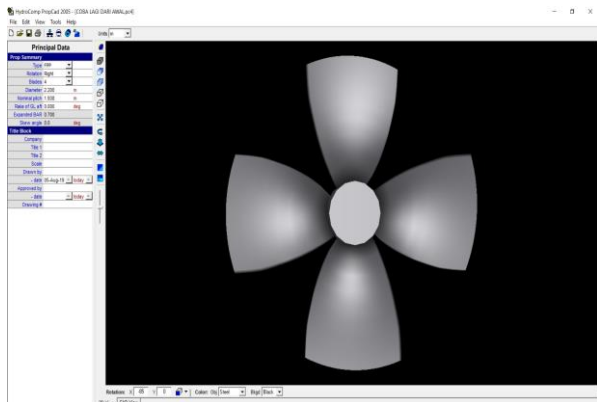
- *Flap angle endplate*; 0° , 10° , dan 20°
- Sudut *rake propeller*; 0° , 6° , 12° dan 15°
- Panjang *endplate* 50mm dan 100mm,
- Tanpa pengurangan diameter asli.



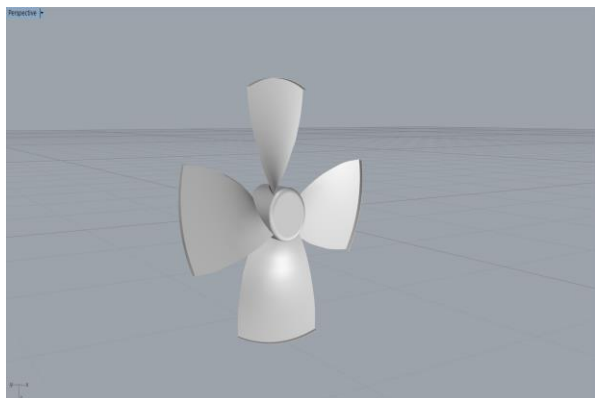
Gambar 1. Sketsa Variabel Perubahan

2.4. Pembuatan Model

Model propeller dibuat dengan menggunakan bantuan *Software modeler*



Gambar 2. Permodelan Propeller



Gambar 3. Permodelan Variasi *Endplate*

2.5. Validasi

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] dengan pengujian *Propeller B-Series* yaitu *propeller* yang digunakan tipe *Wageningen B4 70 series*.

Dengan perhitungan manual, nilai *Thrust* dan *Torque Propeller* dapat dicari dengan menggunakan rumus persamaan dibawah ini:

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

$$KQ = \frac{Q}{\rho \times n^2 \times D^5} \quad (2)$$

$$\eta_0 = \frac{J \times KT}{2 \times \pi \times KQ} \quad (3)$$

$$J = \frac{Va}{n \times D} \quad (4)$$

Keterangan :

KT	= Koefisien gaya dorong baling-baling
KQ	= Koefisien torsi baling-baling
J	= Koefisien <i>advanced</i> baling-baling
Va	= Kecepatan <i>advanced</i>
D	= Diameter <i>propeller</i>
n	= Putaran <i>propeller</i>
T	= <i>Thrust propeller</i>
Q	= <i>Torque propeller</i>
ρ	= Massa jenis fluida
η_0	= Efisiensi baling-baling

2.6. Simulasi CFD Propeller Ka4-70 dengan *Flap Angle Endplate*

Hasil dari validasi apabila mendapatkan nilai *thrust* dan *torque* yang valid, maka langkah selanjutnya adalah melakukan permodelan dengan penambahan *endplate* dan variasi, kemudian di analisa dengan bantuan *software* analisa aliran CFD. Secara garis besar langkah – langkah simulasi ini di bagi pada beberapa tahap antara lain:

2.6.1 Geometry

Langkah awal simulasi ini dengan pembuatan model atau *import* model dari hasil permodelan *software* lain, tahap geometri digunakan untuk mengecek solid tidaknya model, dan juga untuk membuat *domain fluida* pengujian, *interface domain*, *Boolean object*, dan pemberian nama setiap *domain*.

2.6.2 Meshing

Setelah *boundary building* selesai, selanjutnya melakukan *meshing* pada model. *Setup* pada proses *meshing* ini akan berpengaruh pada kapasitas *file* yang terbentuk, apabila kerapatan *meshing* semakin kecil, maka hasil *file* akan berukuran besar, begitupun sebaliknya.

2.6.3 Setup

Dibagi menjadi beberapa langkah, antara lain *default domain*, *solver*, *expression*, dan lain-lain. Pada tahap ini juga ditentukan tingkat eror simulasi

2.6.4 Solution

Pada tahap ini dilakukan perhitungan iterasi dari persamaan dasar dinamika fluida pada CFD.

2.6.5 Result

Tahap ini melihat hasil dari *solution*. Pada tugas akhir ini hasil yang di inginkan berupa nilai *thrust* dan *torque* pada Propeller.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

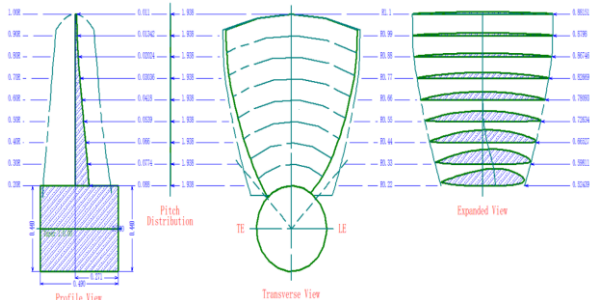
Proses simulasi ini menggunakan skala 1:1 untuk ukuran model yang digunakan.

Permodelan propeller di analisa nilai *thrust* dan *torque* dengan metode CFD, dimana hasil perhitungan divalidasikan dengan hasil perhitungan dari uji eksperimen *open water test*.

3.1 Permodelan Propeller

3.1.1 Permodelan *Propeller*

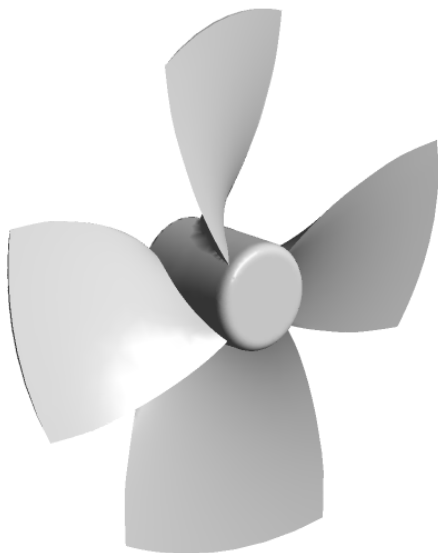
Data ukuran propeller, diinput yang kemudian langsung dilakukan perhitungan guna menghasilkan koordinat propeller 3D



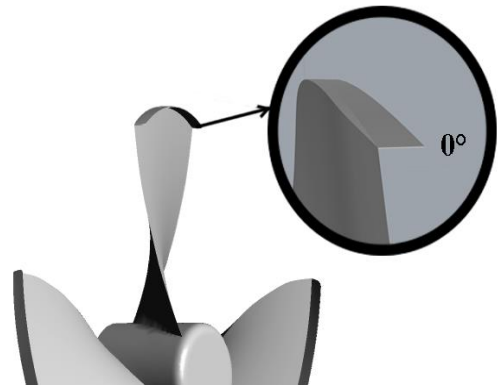
Gambar 4. Hasil Permodelan Daun Ka4-70

3.1.2 Permodelan *Propeller* dengan *Endplate* dan Variasi

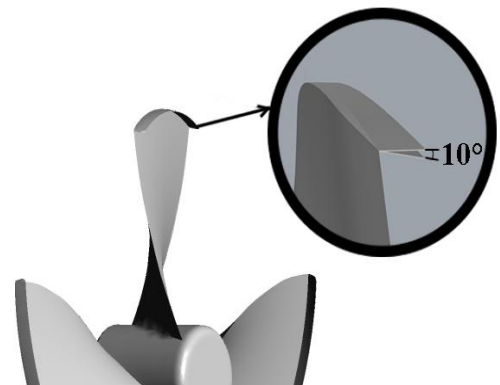
Pembuatan model *Propeller* menggunakan software *Modeler* di mana hasil koordinat 3D dari perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya, kemudian di gambar ulang dan penambahan variasi *endplate* akan dimodelkan.



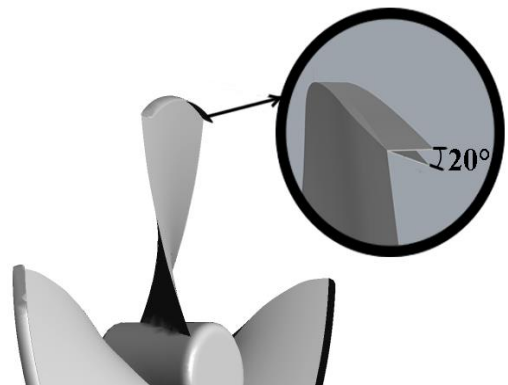
Gambar 5. Permodelan *Propeller* KA4-70 Konvensional



Gambar 6. Variasi *Flap Angle Endplate* 0°



Gambar 7. Variasi *Flap Angle Endplate* 10°



Gambar 8. Variasi *Flap Angle Endplate* 20°

3.2 Simulasi CFD (*Computation Fluid dynamic*)

Setelah permodelan selesai, model file disimpan bentuk file *.*sldprt*.

Kemudian dilanjutkan analisa menggunakan Software simulasi berbasis *Computation Fluid Dynamic*,

3.3 Validasi *Set Up*

Validasi digunakan untuk menentukan *parameter set up* yang tepat untuk menganalisa variasi model *propeller* KA4-70. Acuan model untuk di validasi di ambil dari pengujian tipe B-Series. Maksimal error untuk validasi antara CFD

dengan uji hasil perhitungan $K_T - K_Q - J$ adalah 5%. Berikut data dan hasil perhitungan :

Tabel 2. Data *Propeller B-Series*

No	Data	Dimensi
1	Tipe	FPP- B Series
2	Diameter	2,2 m
3	Pitch	1,938 m
4	Blade Area Ratio	0,70
5	Number Of Blades	4
6	Blade Section	B-Series
7	Rake angle	0°

Tabel 3. Perbandingan Koefisien *Thrust & Torque* Perhitungan *Wageningen* Dengan Hasil Simulasi CFD.

No		Kecepatan rotasi (rpm)	Hasil Perhitungan	Hasil Simulasi	Error (%)
1	K_T	287	0.2234	0.2216	0.78
2.	K_Q	287	0.033	0.0315	4.62

Dengan hasil error di bawah 5%, maka *parameter setup* yang digunakan bisa diterapkan dalam simulasi variasi *propeller* KA4-70.

3.4 Hasil dan Analisa *Performance Propeller*

3.4.1 Analisa Perbandingan *Thrust Propeller*

Analisa dilakukan untuk melihat perubahan nilai *thrust* berdasarkan variasi sudut *rake* dan *flap angle endplate*. Perbandingan dibagi menjadi 2 berdasar panjang *endplate*.

Tabel 4. Variasi Nilai *Thrust(N)* Panjang *Endplate* 50mm

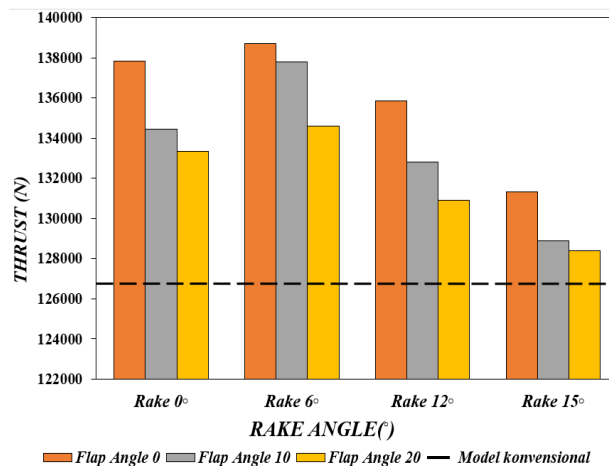
No.	Rake Angle	Tanpa Endplate	Flap Angle 0°	Flap Angle 10°	Flap Angle 20°
1	Model asli	126573			
2	Rake 0°		137838	134446	133352
3	Rake 6°		138703	137809	134597
4	Rake 12°		135844	132802	130899
5	Rake 15°		131322	128881	128396

Tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan *thrust* pada *propeller* Ka-70 dengan penambahan *endplate* 50mm dan variasi sudut *rake* serta *flap angle endplate*. Nilai *thrust* maksimum terdapat pada variasi *rake* 6° dengan *flap angle* 0° yaitu 138703 N.

Hasil analisa *thrust* dibandingkan setiap variasi sudut *rake* dan *flap angle endplate* untuk mengetahui selisih besaran *thrust* dibandingkan model konvensional (model asli).

Tabel 5. Presentase Perbandingan *Thrust* Panjang *Endplate* 50mm

No.	Rake Angle	Flap Angle 0°	Flap Angle 10°	Flap Angle 20°
1	Rake 0°	8.90%	6.22%	5.36%
2	Rake 6°	9.58%	8.88%	6.34%
3	Rake 12°	7.30%	4.92%	3.42%
4	Rake 15°	3.75%	1.82%	1.44%



Gambar 9. Grafik Perbandingan *Thrust Propeller* dengan Panjang *Endplate* 50mm

Gambar 9. menunjukkan grafik nilai *thrust* dengan panjang *endplate* 50mm dan variasi sudut *rake* dan *flap angle endplate*. Penambahan *endplate* 50mm dengan variasi *flap angle* serta sudut *rake* memberikan nilai *thrust* yang lebih baik dari nilai konvensional (model asli), nilai *thrust* meningkat hingga 9.58% pada variasi sudut *rake* 6° dan *flap angle* 0°.

Perbandingan kedua dengan variasi yang sama namun ada perubahan pada panjang *endplate* menjadi 100mm.

Tabel 6. Variasi Nilai *Thrust(N)* Panjang *Endplate* 100mm

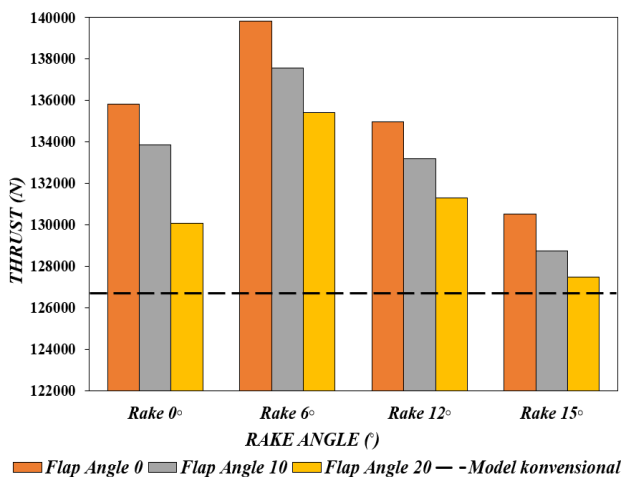
No.	Rake Angle	Tanpa Endplate	Flap Angle 0°	Flap Angle 10°	Flap Angle 20°
1	Model asli	126573			
2	Rake 0°		135839	133844	130062
3	Rake 6°		139835	137572	135427
4	Rake 12°		134956	133186	131317
5	Rake 15°		130518	128736	127499

Tabel 6 menunjukkan hasil perhitungan *thrust* pada *propeller* Ka4-70 dengan penambahan *endplate* 100mm dan variasi sudut *rake* serta *flap angle endplate*. Nilai *thrust* maksimum terdapat pada variasi *rake* 6° dengan *flap angle* 0° yaitu 139835 N.

Hasil analisa *thrust* dibandingkan setiap variasi sudut *rake* dan *flap angle endplate* untuk mengetahui selisih besaran *thrust* dibandingkan model konvensional (model asli).

Tabel 7. Presentase Perbandingan *Thrust* Panjang *Endplate* 100mm

No.	Rake Angle	Flap Angle 0°	Flap Angle 10°	Flap Angle 20°
1	Rake 0°	7.32%	5.74%	2.76%
2	Rake 6°	10.48%	8.69%	7.00%
3	Rake 12°	6.62%	5.22%	3.75%
4	Rake 15°	3.12%	1.71%	0.73%



Gambar 10. Grafik Perbandingan *Thrust* Propeller dengan Panjang *Endplate* 100mm

Gambar 10. menunjukkan grafik nilai *thrust* dengan panjang *endplate* 100mm dan variasi sudut *rake* serta *flap angle endplate*. Panjang *endplate* 100mm memberikan nilai *thrust* yang lebih baik dari nilai konvensional. Nilai *thrust* meningkat hingga 10.48%. Nilai tersebut lebih tinggi daripada nilai *thrust* yang dihasilkan dengan panjang *endplate* 50mm.

Trendline nilai *thrust* yang terjadi dari dua ukuran panjang *endplate* menunjukkan karakteristik yang sama, yaitu nilai *thrust* tertinggi berada pada variasi *rake* 6°. Hasil analisa tersebut diperkuat dengan penelitian[5], yang menunjukkan variasi sudut *rake* dengan penambahan *nozzle* pada *propeller* jenis kaplan KA4-70 menghasilkan nilai *thrust* terbaik pada konfigurasi variasi sudut *rake* 6°.

Variasi *flap angle endplate* 0°,10°,20° memberikan pengaruh pada nilai *thrust* yang menurun sejalan dengan semakin besar ukuran *flap angle endplate* tersebut. Nilai *thrust* tertinggi terdapat pada variasi *flap angle* 0°. Hasil analisa tersebut didukung oleh hasil penelitian[9], yang menunjukkan variasi *flap angle* dengan

pengurangan diameter, juga menunjukkan nilai maksimal *thrust* pada *flap angle* 0°.

3.4.2 Analisa Perbandingan *Torque* Propeller

Analisa dilakukan untuk melihat perubahan nilai *torque* berdasarkan variasi sudut *rake* dan *flap angle endplate*. Perbandingan dibagi menjadi 2 berdasarkan panjang *endplate*.

Tabel 8. Variasi Nilai *Torque*(N.m) Pada Panjang *Endplate* 50mm

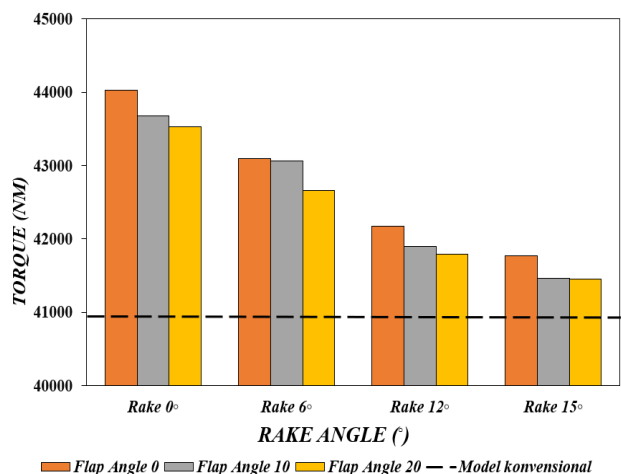
No.	Rake Angle	Tanpa Endplate	Flap Angle 0°	Flap Angle 10°	Flap Angle 20°
1	Model asli	40950.5			
2	Rake 0°		44028.0	43674.1	43121.5
3	Rake 6°		43096.7	43060.0	42660.1
4	Rake 12°		42171.7	41901.6	41795.1
5	Rake 15°		41775.4	41469.1	41452.0

Tabel 8 menunjukkan hasil perhitungan *torque* pada propeller Ka4-70 dengan penambahan *endplate* 50mm dan variasi sudut *rake* serta *flap angle endplate*. Nilai *torque* minimum terdapat pada variasi *rake* 15° dengan *flap angle* 20° yaitu 41452.0 N.m.

Hasil analisa *torque* dibandingkan setiap variasi sudut *rake* dan *flap angle endplate* untuk mengetahui selisih besaran *torque* dibandingkan model konvensional (model asli).

Tabel 9. Presentase Perbandingan *Torque* Panjang *Endplate* 50mm

No.	Rake Angle	Flap Angle 0°	Flap Angle 10°	Flap Angle 20°
1	Rake 0°	7.52%	6.65%	6.29%
2	Rake 6°	5.24%	5.15%	4.17%
3	Rake 12°	2.98%	2.32%	2.06%
4	Rake 15°	2.01%	1.27%	1.22%



Gambar 11. Grafik Perbandingan *Torque* Propeller dengan Panjang *Endplate* 50mm

Gambar 11. Menunjukkan grafik nilai *torque* dengan panjang *endplate* 50mm dan variasi sudut *rake* serta *flap angle endplate*. Penambahan *endplate* 50mm dengan variasi *flap angle* dan sudut *rake* memberikan nilai *torque* yang lebih besar dari nilai model konvensional (model asli), nilai *torque* meningkat maksimum 7.52% pada variasi sudut *rake* 0° dan *flap angle* 0° dan minimum pada sudut *rake* 15° dan *flap angle* 20° naik 1.22%.

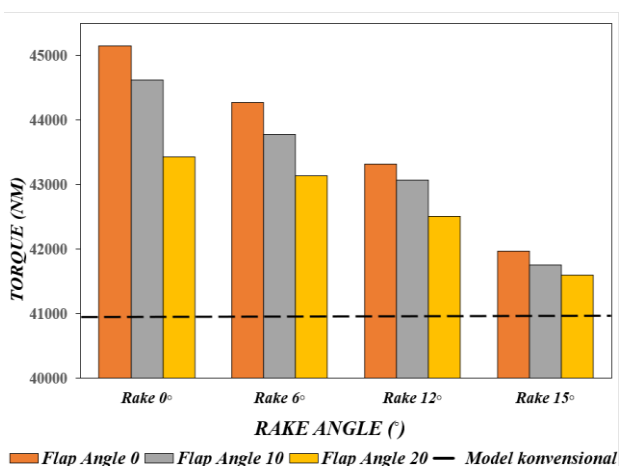
Perbandingan kedua dengan variasi yang sama namun ada perubahan pada panjang *endplate* menjadi 100mm.

Tabel 10. Variasi Nilai *Torque*(N.m) Panjang *Endplate* 100mm

No.	Rake Angle	Tanpa Endplate	Flap Angle 0°	Flap Angle 10°	Flap Angle 20°
1	Model asli	40950.5			
2	Rake 0°		45150.4	44626.4	43427.9
3	Rake 6°		44275.0	43774.9	43137.1
4	Rake 12°		43314.1	43067.0	42510.1
5	Rake 15°		41969.0	41761.2	41601.4

Tabel 10 menunjukkan hasil perhitungan *torque* pada *propeller* Ka4-70 dengan penambahan *endplate* 100mm dan variasi sudut *rake* serta *flap angle endplate*. Nilai *torque* minimum terdapat pada variasi *rake* 15° dengan *flap angle* 20° yaitu 41601.4 N.m.

Hasil analisa *torque* dibandingkan setiap variasi sudut *rake* dan *flap angle endplate* untuk mengetahui selisih besaran *torque* dibandingkan model konvensional (model asli).



Gambar 12. Grafik Perbandingan *Torque* *Propeller* Panjang *Endplate* 100mm

Tabel 11. Presentase Perbandingan *Torque* Panjang *Endplate* 100mm

No.	Rake Angle	Flap Angle 0°	Flap Angle 10°	Flap Angle 20°
1	Rake 0°	10.26%	8.98%	6.80%
2	Rake 6°	8.12%	6.90%	5.34%
3	Rake 12°	5.77%	5.17%	3.81%
4	Rake 15°	2.49%	1.98%	1.59%

Gambar 12. menunjukkan grafik nilai *torque* dengan panjang *endplate* 100mm dan variasi sudut *rake* serta *flap angle endplate*. Penambahan *endplate* 100mm dengan variasi memberikan nilai *torque* yang lebih besar dari nilai model konvensional (model asli), nilai *torque* meningkat maksimum 10.26% pada variasi sudut *rake* 0° dan *flap angle* 0° dan minimum pada sudut *rake* 15° dan *flap angle* 20° naik 1.59%.

Nilai *torque* pada panjang *endplate* 100mm lebih tinggi dari panjang 50mm dikarenakan bertambahnya dimensi panjang *endplate*.

Trendline *torque* yang terjadi dari dua ukuran *endplate* menunjukkan karakteristik yang sama. Nilai *torque* cenderung menurun dari *rake* 0° menuju *rake* 15°. Nilai *torque* juga cenderung menurun dari *flap angle* 0° menuju *flap angle* 20°.

Nilai *torque* maksimal terdapat pada konfigurasi yang sama, yaitu pada *rake* 0° dan *flap angle* 0°, serta nilai *torque* minimal terdapat pada konfigurasi variasi *rake* 15° dan *flap angle* 20°.

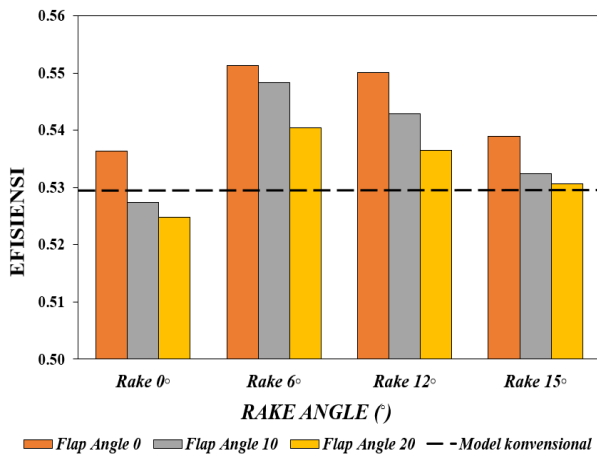
3.4.3 Analisa Perbandingan Efisiensi

Analisa dilakukan untuk melihat perubahan nilai efisiensi berdasarkan variasi sudut *rake* dan *flap angle endplate*. Perbandingan dibagi menjadi 2, berdasarkan panjang *endplate*.

Nilai efisiensi dihitung dengan persamaan (3).

Tabel 12. Variasi Nilai Efisiensi pada Panjang *Endplate* 50mm

No.	Rake Angle	Flap angle Endplate	K_T	K_Q	Efisiensi
1	Model asli		0.2312	0.0340	0.52951
2	Rake 0°	Flap 0°	0.2518	0.0366	0.53633
		Flap 10°	0.2456	0.0363	0.52737
		Flap 20°	0.2436	0.0362	0.52485
3	Rake 6°	Flap 0°	0.2534	0.0358	0.55136
		Flap 10°	0.2517	0.0358	0.54827
		Flap 20°	0.2459	0.0355	0.54051
4	Rake 12°	Flap 0°	0.2481	0.0351	0.55014
		Flap 10°	0.2426	0.0348	0.54296
		Flap 20°	0.2391	0.0347	0.53654
5	Rake 15°	Flap 0°	0.2399	0.0347	0.53853
		Flap 10°	0.2354	0.0345	0.53242
		Flap 20°	0.2345	0.0345	0.53064



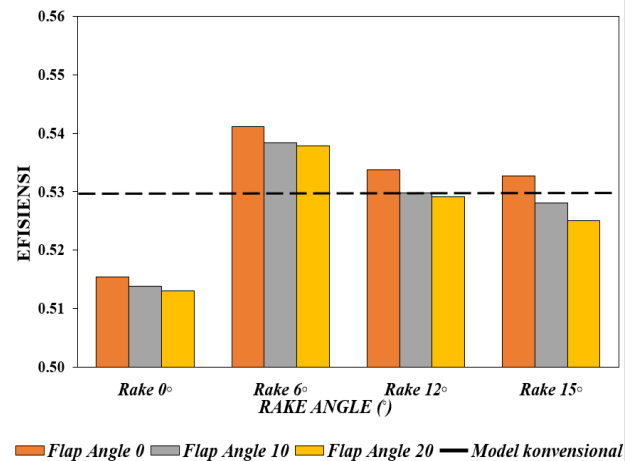
Gambar 13. Grafik Perbandingan Efisiensi Propeller dengan Panjang Endplate 50mm

Tabel 12 menunjukkan hasil perhitungan efisiensi pada propeller KA4-70 dengan penambahan endplate 50mm dan variasi sudut rake serta flap angle endplate. Nilai efisiensi tertinggi terdapat pada variasi rake 6° dengan flap angle 0° sebesar 0.55136. Nilai efisiensi tersebut naik 4.13% dari nilai model konvensional.

Tabel 13. Variasi Nilai Efisiensi pada Panjang Endplate 100mm

No.	Rake Angle	Flap angle Endplate	K_T	K_Q	Efisiensi
1	Model asli		0.2312	0.0340	0.52951
2	Rake 0°	Flap 0°	0.2481	0.0375	0.51541
		Flap 10°	0.2445	0.0371	0.51381
		Flap 20°	0.2376	0.0361	0.51307
3	Rake 6°	Flap 0°	0.2554	0.0368	0.54107
		Flap 10°	0.2513	0.0364	0.53839
		Flap 20°	0.2474	0.0359	0.53783
4	Rake 12°	Flap 0°	0.2465	0.0360	0.53377
		Flap 10°	0.2433	0.0358	0.52979
		Flap 20°	0.2399	0.0353	0.52920
5	Rake 15°	Flap 0°	0.2384	0.0349	0.53276
		Flap 10°	0.2352	0.0347	0.52810
		Flap 20°	0.2329	0.0346	0.52504

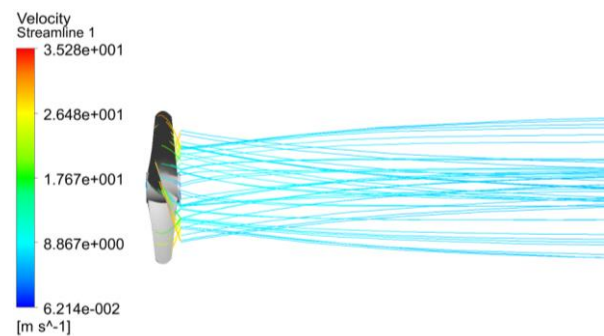
Tabel 13 menunjukkan hasil perhitungan efisiensi pada propeller KA4-70 dengan penambahan endplate 100mm dan variasi sudut rake serta flap angle endplate. Nilai efisiensi tertinggi terdapat pada variasi rake 6° dengan flap angle endplate 0° sebesar 0.54107. Nilai efisiensi tersebut naik 2.18% dari nilai model asli.



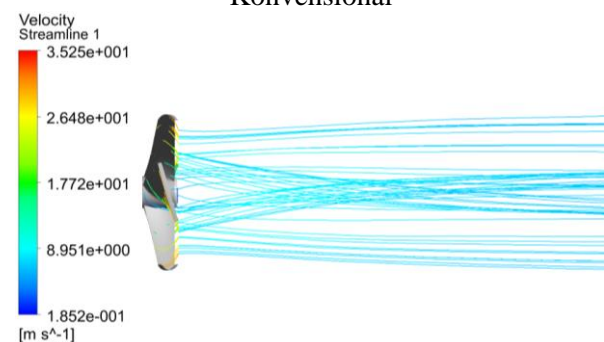
Gambar 14. Grafik Perbandingan Efisiensi propeller dengan Panjang Endplate 100mm

Kenaikan nilai efisiensi propeller dipengaruhi oleh nilai J , K_T , K_Q . Nilai K_T , K_Q diperoleh dari nilai Thrust dan Torque propeller. Penerapan dua panjang endplate berbeda, menunjukkan nilai trendline efisiensi yang sama. Efisiensi terbaik pada variasi rake 6° dengan flap angle endplate 0°.

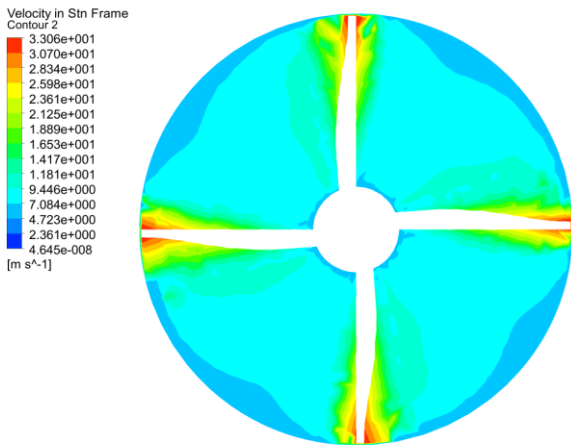
Nilai Efisiensi meningkat hingga 4.13% dibandingkan model konvensional, tanpa pengurangan diameter propeller. Tanpa pengurangan ukuran diameter tersebut berpengaruh pada peningkatan efisiensi yang masih dibawah rata-rata kenaikan efisiensi akibat variasi bagian tip propeller bagian pressure side, yang bisa meningkatkan efisiensi hingga 5-8% dari model konvensional[13].



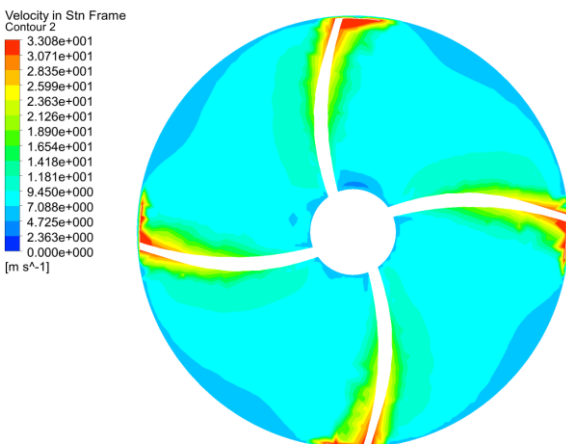
Gambar 15. Result Streamline KA4-70 Konvensional



Gambar 16. Result Streamline KA4-70 Rake 6° dan Flap Angle Endplate 0°

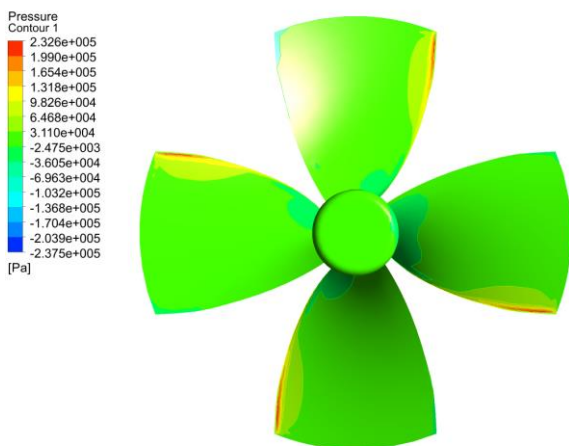


Gambar 17. Axial Velocity Ka4-70 Konvensional

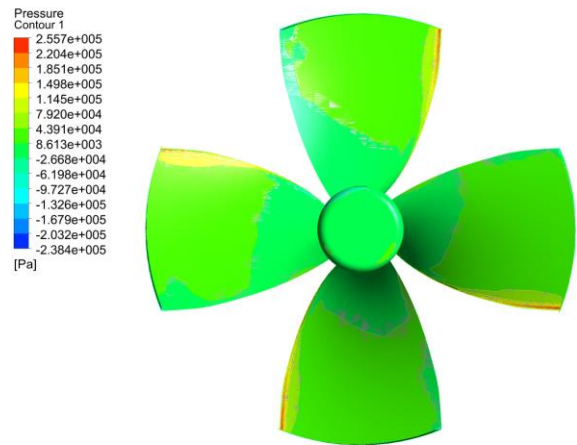


Gambar 18. Axial Velocity KA4-70 Rake 6° dan Flap Angle Endplate 0°

Gambar 17. menunjukkan aliran pada *tip propeller* tersebar merata. Gambar 18 menunjukkan penambahan *endplate* memberikan pengaruh aliran yang menjadi terpusat di bawah *endplate*, atau di batasi *endplate* antara bagian *suction side* dengan *pressure side propeller*. Perbandingan kedua kontur tersebut telah menjelaskan tujuan utama pemasangan *endplate* sebagai pembatas aliran antara dua sisi *propeller*[8].



Gambar 19. Contour Pressure Face KA4-70 Konvensional



Gambar 20. Contour Pressure Face KA4-70 Rake 6° dan Flap Angle Endplate 0°

Gambar 19 dan 20 memvisualisasikan kontur *pressure face propeller* KA4-70 konvensional dan setelah penerapan variasi sudut *rake* dan *flap angle endplate*. Gambar 19 menunjukkan nilai tekanan pada daun propeller KA4-70 konvensional maksimal sebesar 232568 Pa. Gambar 20, menunjukkan nilai tekanan naik mencapai 255671 Pa. Kenaikan tersebut mengindikasikan penambahan *endplate* dan variasi *flap angle endplate* serta sudut *rake*, memberikan dampak pada meningkatnya nilai tekanan pada daun *propeller*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan menunjukkan penerapan variasi sudut *rake* dan penambahan *endplate* dengan perubahan *flap angle endplate* memberikan perubahan pada nilai *thrust*, *torque*, serta efisiensi dari *propeller*.

Nilai *flap angle endplate* yang semakin besar memberikan nilai *thrust*, *torque*, dan efisiensi *propeller* semakin menurun.

Trendline *thrust* akibab variasi sudut *rake* mengalami nilai maksimal pada *rake* 6° dan trendline *torque* akibab variasi sudut *rake* yang semakin menurun dari sudut *rake* 0° ke *rake* 15°.

Nilai *thrust maksimum* diperoleh pada variasi *rake* 6° dan *flap angle endplate* 0° pada panjang *endplate* 100mm, dengan nilai *thrust* 139835 N. Nilai tersebut naik 10,48% dari model konvensional.

Nilai *torque minimum* diperoleh pada variasi *rake* 15° dan *flap angle endplate* 20°, dengan nilai 41452 N.m pada panjang *endplate* 50mm. Nilai tersebut mengalami kenaikan sebesar 1,22% dari model konvensional.

Nilai efisiensi tertinggi diperoleh pada variasi *rake* 6° dan *flap angle endplate* 0° , dengan nilai 0.55136 pada panjang *endplate* 50mm. Nilai

tersebut naik 4.13% dibandingkan *propeller Kaplan KA4-70* konvensional.

Peneliti memberikan saran untuk meneliti terhadap geometri *endplate* yang optimum, serta analisa struktur *propeller* akibat penambahan *endplate* tersebut, untuk meningkatkan serta melengkapi data-data penelitian kedepannya.

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] VEEM Ltd, "The VEEM Kaplan Series," 2015. [Online]. Available: <https://veempropellers.com/propeller-range/veemkaplan-series/>. [Accessed: 02-Apr-2019].
- [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. Adiyta, "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] A. Ommundsen, "Unconventional Propeller Tip Design," no. June, 2015.
- [8] G. Gennaro and J. Gonzalez-Adalid, "Improving the propulsion efficiency by means of Contracted and Loaded Tip (CLT) propellers," *Soc. Nav. Archit. Marine Eng. Athens, Greece*, 2012.
- [9] 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.
- [10] Y. R. Andilolo, P. Manik, and M. Iqbal, "Studi Kasus Kinerja Propeller Kaplan Series Akibat Pengurangan Diameter dan Penambahan End Plate dengan Metode CFD," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 1, pp. 205–213, 2017.
- [11] A. Sánchez-Caja, J. González-Adalid, M. Perez-Sobrino, and I. Saisto, "Study of End-Plate Shape Variations for Tip Loaded Propellers Using a RANSE Solver," *29th Symp. Nav. Hydrodyn.*, no. August, pp. 26–31, 2012.
- [12] M. M. Bernitsas, *KT KQ and Efficiency Curves for the Wageningen B-Series Propellers*. Michigan: University of Michigan, 1981.
- [13] M. Brown *et al.*, "Improving Propeller Efficiency Through Tip Loading," no. February 2015, 2014.