



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Studi Kasus Kinerja *Propeller Kaplan Series* Akibat Pengurangan Diameter dan Penambahan *End Plate* dengan Metode CFD

Yermias Rahardian Andilolo¹⁾, Parlindungan Manik¹⁾, Muhammad Iqbal¹⁾

¹⁾Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email: yermiasrahardianandilolo@gmail.com, parlin1974@yahoo.com, iqbal.muhammad.1412@gmail.com

Abstrak

Ada beberapa variasi jenis daun propeller yang masing-masing memiliki karakteristik yang berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan jenis kapal. Dalam hal ini kaplan adalah salah satu jenis daun propeller yang paling banyak digunakan pada tug boat karena fungsinya untuk menghasilkan tenaga yang besar namun dengan kecepatan berlayar yang rendah. Tenaga besar yang perlu dihasilkan propeller kaplan series dengan kecepatan berlayar yang rendah akibat beban kerja yang besar akan memberi dampak penurunan nilai efisiensi dari kinerja propeller. Pada permasalahan ini nilai efisiensi propeller akan berkurang sehingga berdampak pada kinerja tug boat yang menurun dikarenakan tenaga mesin tidak dapat digunakan secara optimal. Penelitian ini menganalisa propeller jenis Kaplan Series dengan pengurangan diameter menjadi 0,975R, 0,95R, 0,925R, 0,90R dan penambahan end plate pada tip propeller dengan 4 variasi panjang yaitu 150 mm, 100 mm, 75 mm, 50 mm dan dengan menggunakan sudut rake 0° dan 15°, sehingga didapatkan variasi propeller yang optimum dengan bantuan program Computational Fluid Dynamics (CFD). Dalam proses analisa menggunakan software berbasis CFD, hingga mendapatkan hasil dari semua model propeller yaitu nilai thrust, efisiensi, dan nilai pressure. Dari beberapa model yang telah dibandingkan diperoleh model propeller yang optimum yaitu dengan variasi pengurangan diameter sebesar 2,5% dengan sudut rake 150 dan penambahan end plate dengan panjang 75 mm dengan nilai thrust sebesar 122163 N, rata-rata tekanan 37202.5 Pa, dan nilai efisiensi sebesar 55,47% dengan putaran propeller yang optimal sebesar 275 RPM.

Kata Kunci : *Kaplan, Propeller, End Plate, CFD*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Banyak aspek yang harus diperhatikan dalam mendesain sebuah kapal agar memperoleh nilai efisiensi yang optimal salah satunya adalah perencanaan sistem propulsi. Pada dasarnya merupakan perencanaan desain propeller, karena dengan perencanaan yang baik maka propeller dapat meneruskan tenaga dari mesin induk lebih optimal. Ada beberapa variasi jenis daun propeller yang masing-masing memiliki karakteristik yang berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan jenis kapal. Dalam hal ini Kaplan adalah salah satu jenis daun propeller yang paling banyak digunakan pada tug boat karena fungsinya untuk

menghasilkan tenaga yang besar namun dengan kecepatan berlayar yang rendah.

Tenaga besar yang perlu dihasilkan propeller kaplan series dengan kecepatan berlayar yang rendah akibat beban kerja yang besar akan memberi dampak penurunan nilai efisiensi dari kinerja propeller. Pada permasalahan ini nilai efisiensi propeller akan berkurang sehingga berdampak pada kinerja tug boat yang menurun dikarenakan tenaga mesin tidak dapat digunakan secara optimal.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengetahui dampak dari penggunaan end plate pada propeller untuk meningkatkan efisiensi dan thrust propeller.

1.2. Rumusan Masalah

Dengan memperhatikan pokok permasalahan yang terdapat pada latar belakang, maka diambil beberapa rumusan masalah, antara lain: bagaimana peletakan end plate berdasarkan diameter pada propeller yang menghasilkan nilai thrust yang sama atau lebih besar dari model konvensional, bagaimana ukuran end plate yang paling optimal untuk mengurangi pressure pada daun propeller, dan berapakah nilai efisiensi tertinggi yang didapatkan pada beberapa variasi end plate.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah digunakan sebagai arahan serta acuan dalam penulisan tugas akhir sehingga sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang diharapkan. Adapun batasan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. *Propeller* yang digunakan adalah:
 - Diameter : 2.20 m
 - Pitch : 1.938 m
 - Blade Rasio : 0.70
 - No. Of Blade : 4
 - Rake Angle : 0°
 - Type : *Kaplan-Series*
2. Variasi :
 - Pengurangan diameter menjadi 0,95R , 0,925R , 0,90R dan pada masing-masing *tip propeller* diberi *end plate* dengan kemiringan 0° atau tegak lurus terhadap daun propeller
 - Sudut rake 0° dan 15°
 - Panjang *end plate* 150 mm, 100 mm, 75 mm, 50 mm
3. Hanya membandingkan desain yang ada.
4. Asumsi aliran di depan *propeller* adalah *steady-uniform*
5. Analisa pada keadaan *open water*.
6. Hanya menganalisa distribusi aliran fluida dibelakang *propeller*.
7. Mengabaikan faktor maupun kondisi aliran air (fluida) dari lambung.
8. Tidak memperhitungkan analisa biaya.
9. Menggunakan *software* analisa CFD yaitu *Ansys CFX*.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas maka tujuan dari penelitian ini antara lain: untuk mengetahui peletakan end plate berdasarkan diameter pada propeller yang paling optimal sehingga memiliki besaran thrust yang sama atau lebih besar dari model konvensional, mengetahui bentuk atau ukuran end plate yang paling optimal untuk mengurangi pressure propeller, dan

mengetahui model propeller dengan end plate yang paling efisien.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tug Boat

Tug boat adalah kapal yang fungsinya menarik atau mendorong kapal-kapal lainnya. *Tug boat* dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu: *seagoing tug*, *escort tug*, *harbor tug*.

2.2. Propeller

Dalam perkembangan mendesain *propeller* kapal ada beberapa perbedaan dari *propeller* untuk *tug boat*. Kebutuhan yang paling penting untuk *propeller tug boat* adalah tingginya gaya dorong yang dihasilkan. Oleh karena tingginya nilai *thrust* yang dihasilkan dengan beban kerja kapal maka terjadi penurunan efisiensi kinerja propeller.

Beberapa hal yang dibutuhkan oleh *propeller*, yaitu:

- Manuver tinggi
- Baling-baling bebas dari kavitasi
- *Propeller* dengan efisiensi tinggi

2.3. Karakteristik Baling-Baling Kapal

Setiap tipe dari masing-masing baling-baling kapal memiliki karakteristik kurva kinerja yang berbeda-beda. Sehingga kajian terhadap karakteristik baling-baling kapal tidak dapat digeneralisasi untuk keseluruhan bentuk atau tipe dari baling-baling. Persamaan sebagai berikut:

$$J = \frac{Va}{n \cdot D} \quad K_T = \frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4} \quad K_Q = \frac{Q}{\rho \cdot n^2 \cdot D^5}$$
$$\eta_0 = \frac{J \cdot K_T}{2 \cdot \pi \cdot K_Q}$$

Dimana:

- K_T = Koefisien gaya dorong *propeller*
- K_Q = Koefisien torsi *propeller*
- J = Koefisien *advanced propeller*
- Va = kecepatan *advanced*
- D = diameter *propeller*
- n = putaran *propeller*
- T = *thrust propeller*
- Q = *torque propeller*
- ρ = massa jenis fluida (*fluid density*)
- η_0 = efisiensi *propeller*

2.4. Computational Fluid Dynamics

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa permasalahan yang berhubungan dengan aliran

fluida. Tujuan CFD untuk memprediksi secara akurat tentang aliran fluida, perpindahan panas dan reaksi kimia yang melibatkan satu atau semua fenomena diatas.

Computational Fluid Dynamics terdiri dari tiga elemen utama yaitu:

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

2.5. Teori Baling-Baling

Dalam teori baling-baling dijelaskan bahwa pada awalnya teori baling-baling dijelaskan dengan cara yang sangat sederhana, yaitu berdasarkan prinsip kerja mur dan baut (screw & nut) namun ada juga teori lain seperti teori Kutta-Joukowski yang menjelaskan bahwa suatu benda yang bergerak dengan kecepatan teratur (uniform velocity) di dalam suatu fluida yang ideal dan sehubungan dengan terdapatnya aliran sirkulasi pada benda tersebut maka akan mendapatkan gaya angkat yang pada propeller merupakan gaya dorong. Ketika propeller berputar melewati air maka air akan menghantam bagian dari daun propeller daerah belakang, menekan pada bagian samping dan menciptakan tekanan dalam jumlah yang besar.

2.6. Teori Baling-Baling

Propeller dengan *end plate* mulai dikenal pada tahun 1976 ketika G.P.Gomez menciptakan TVF Propeller atau *Tip Vortex Free Propeller* menggunakan jenis daun Kaplan dengan *end plate*. Lalu, pada pertengahan tahun 1980-an ia mendirikan SISTEMAR untuk mengembangkan propeller dengan *end plate* yang disebut CLT (*Contracted and Loaded Tip*).

CLT propeller dikembangkan setelah disadari pada percobaan dengan menggunakan TVF propeller, bahwa:

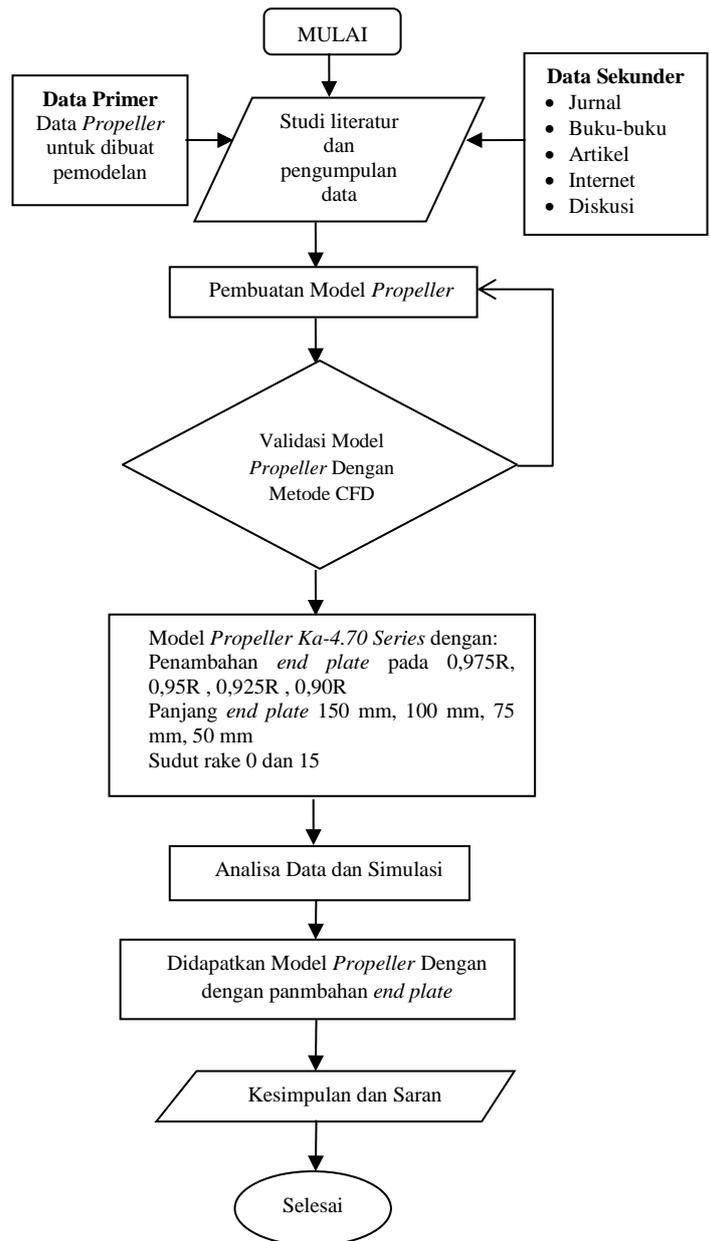
- Bagian *end plate* yang berada pada *suction side* tidak diperlukan dan merugikan
- Geometri dari *end plate* harus disesuaikan dengan kontraksi dari fluida yang melewati propeller.

CLT propeller memiliki beberapa karakteristik, antara lain:

- *Tip chord* memiliki batasan.
- Propeller dilengkapi dengan *end plate* pada *blade tip*, yang terletak pada *pressure side*.
- *Blade tip* dikenakan beban besar.
- Gaya dorong meningkat dari *root* hingga *blade tip*.
- Memiliki *skew* kecil hingga sedang

3. METODOLOGI PENELITIAN

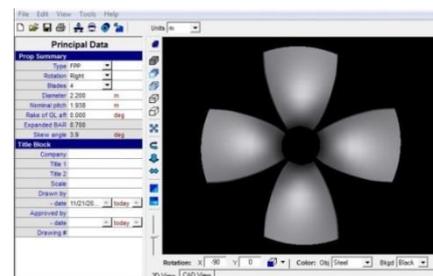
3.1. Diagram Alir



4. HASIL DAN PEMBAHASAN

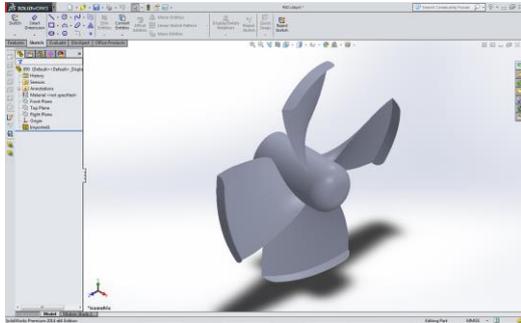
4.1. Pembuatan Model

Data ukuran utama *propeller* diolah menggunakan *software* pemodelan *propeller* yang merupakan *software* pengolah koordinat baling – baling (*PropCad*).



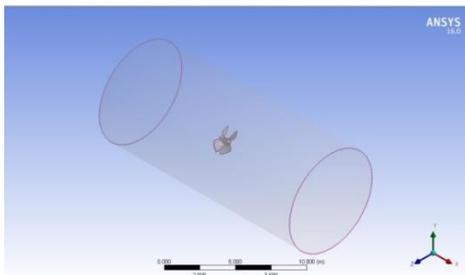
Gambar 3. Software Pemodelan Propeller

Selanjutnya dilakukan pembuatan 3D model untuk diolah menjadi benda solid sebelum dimasukkan ketahap analisa, pemodelan 3D tersebut menggunakan *software Rhinoceros* untuk penambahan *end plate* dan *Solidwork* untuk memberi bentuk pada *hub propeller*.



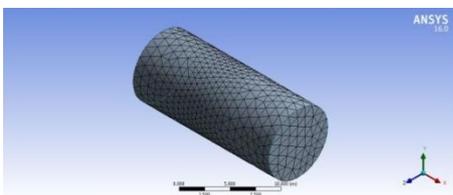
Gambar 4. *Software* Pemodelan 3D

Tahap selanjutnya yaitu *geometry* dimana model dilakukan pengecekan apakah model sudah *solid*. Lalu dilakukan pembentuk *boundary* pada bidang sumbu x y z dan pendefinisian setiap bagian boundary seperti pengaturan inlet, outlet, dan wall.



Gambar 5. Tahap *Geometry*

Selanjutnya tahap *meshing* untuk menentukan ukuran tiap elemen dan mengatur kedetailan melalui ukuran elemen yang kita gunakan.



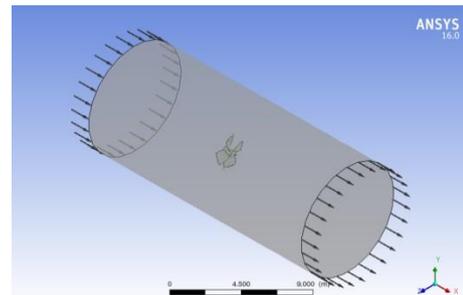
Gambar 6. Tahap *Mesh*

Selanjutnya kita mengatur setiap kriteria yang kita gunakan dengan mengatur *Set-up*. *Set-up* yang digunakan merupakan kriteria yang telah di validasi dahulu sebelumnya sehingga mendapatkan hasil yang memiliki *error* tidak jauh dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Berikut *Domain Physics* yang digunakan.

Tabel 1. *Domain Default*

Domain - Default Domain	
Type	Fluid
Location	B167
<i>Materials</i>	
Water	
Fluid Definition	Material Library
Morphology	Continuous Fluid
<i>Settings</i>	
Buoyancy Model	Non Buoyant
Domain Motion	Rotating
Angular Velocity	-287 [rev min ⁻¹]
Axis Definition	Coordinate Axis
Rotation Axis	Global X
Reference Pressure	1.0000e+00 [atm]
Heat Transfer Model	Isothermal
Fluid Temperature	2.5000e+01 [C]
Turbulence Model	k epsilon
Turbulent Wall Functions	Scalable

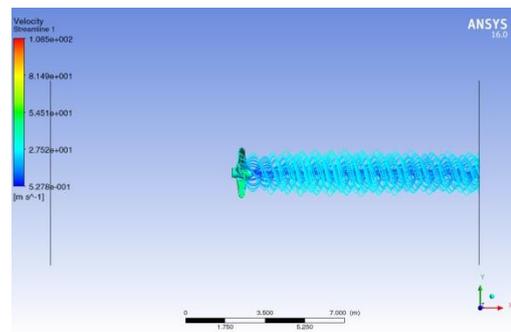
Berikut merupakan gambar dari pengaturan *set-up* pada *boundary* yang telah dibuat pada tahap sebelumnya.



Gambar 7. *Boundary Set-up*

Tahap *solution* yaitu tahap dimana *boundary* yang telah diberi kriteria dilakukan iterasi hingga didapatkan hasil yang *convergence*.

Tahap akhir yaitu tahap *post* dimana kita mendapatkan hasil yang dapat disimulasikan baik 3D ataupun 2D.



Gambar 8. *Result model*

4.2. Validasi Model

Validasi digunakan untuk menentukan *boundary condition* yang tepat untuk menganalisa variasi model *propeller*. Acuan model untuk divalidasi diambil dari pengujian propeller *tug boat*, yaitu *propeller* yang digunakan tipe *B-series*, berikut data *propeller* untuk di validasi :

- Diameter propeller : 2,20 m
- Jumlah blade : 4
- Pitch/diameter : 0,881
- Pitch : 1,938 m
- Blade rasio : 0,70

Pada penelitian tersebut diambil rpm yang mendekati rpm yang digunakan pada jurnal. Pada hasil perhitungan dengan CFD pada *software* berbasis CFD adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Perbandingan Hasil uji coba dengan simulasi CFD

Kecepatan Rotasi (rpm)	Hasil uji coba Coeffisien Thrust (K _T)	Hasil simulasi CFD (K _T)	Error (%)
287	0,2234	0,2345	4,93 %

Kecepatan Rotasi (rpm)	Hasil uji coba Coeffisien Torque (K _Q)	Hasil simulasi CFD (K _Q)	Error (%)
287	0,0327	0,0336	2,64 %

4.3. Pembahasan

4.3.1. Pembahasan Perbandingan Thrust

Proses analisa dilakukan untuk melihat perubahan nilai thrust propeller berdasarkan perubahan diameter yang ditunjukkan dengan nilai J dan perubahan panjang *end plate*. Perbandingan dibagi menjadi 2 berdasarkan sudut rake yang digunakan.

Dari hasil analisa, *thrust* tertinggi pada sudut rake 0 yaitu pada J 0,50 dan panjang *end plate* 150 mm dengan nilai 142525 N, seperti yang telah terdapat pada (tabel 3) berikut:

Tabel 3. Tabel Thrust Propeller pada rake 0

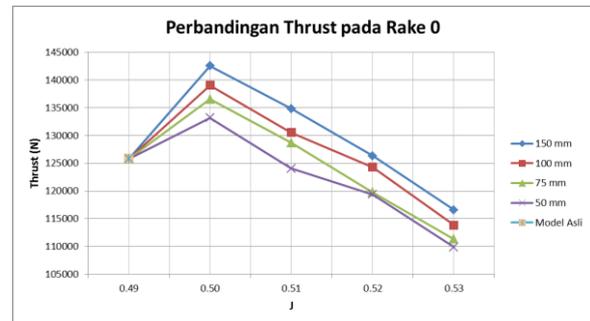
J	150 mm	100 mm	75 mm	50 mm	Model Asli
0.49					125779
0.50	142525	139048	136536	133166	
0.51	134844	130533	128672	124056	
0.53	126302	124262	119743	119351	
0.54	116564	113816	111319	109852	

Dari hasil analisa *thrust* dilakukan perbandingan nilai *thrust* antara setiap panjang *end plate* sehingga diketahui selisih besaran *thrust*

dengan model konvensional seperti yang telah terdapat pada (tabel 4) berikut:

Tabel 4. Tabel Presentase Perbandingan Thrust pada rake 0

J	150 mm	100 mm	75 mm	50 mm
0.50	11.75%	9.54%	7.88%	5.55%
0.51	6.72%	3.64%	2.25%	-1.39%
0.53	0.41%	-1.22%	-5.04%	-5.39%
0.54	-7.91%	-10.51%	-12.99%	-14.50%



Gambar 9. Grafik Perbandingan Thrust pada rake 0

Dari grafik di atas dapat diketahui meskipun terjadi pengurangan diameter propeller sebesar 5% (J=0,51), namun dengan adanya *end plate* dapat membantu untuk meningkatkan nilai *thrust*-nya, bahkan lebih besar dari nilai *thrust* pada model konvensional.

Perbandingan kedua menggunakan variasi yang sama namun ada perubahan sudut rake menjadi 15° dan dari hasil analisa, *thrust* tertinggi pada sudut rake 15° ini yaitu pada J 0,50 dengan panjang *end plate* 150 mm dengan nilai 146948 N, seperti yang telah terdapat pada tabel 5:

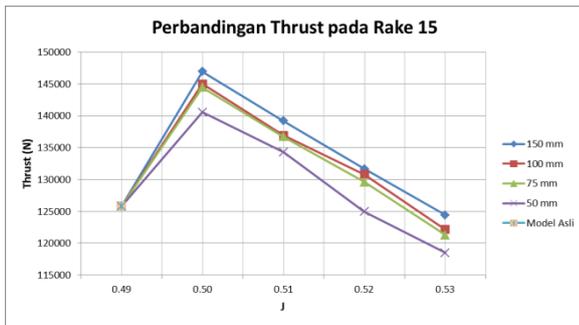
Tabel 5. Tabel Thrust Propeller pada rake 15

J	150 mm	100 mm	75 mm	50 mm	Base Model
0.49					125779
0.50	146948	145008	144486	140551	
0.51	139198	136945	136724	134289	
0.53	131662	130783	129603	124945	
0.54	124402	122150	121281	118460	

Dari hasil analisa *thrust* dilakukan perbandingan nilai *thrust* antara setiap panjang *end plate* sehingga diketahui selisih besaran *thrust* dengan model konvensional seperti yang telah terdapat pada (tabel 6) berikut:

Tabel 6. Tabel Presentase Perbandingan Thrust pada rake 15

J	150 mm	100 mm	75 mm	50 mm
0.50	14.41%	13.26%	12.95%	10.51%
0.51	9.64%	8.15%	8.01%	6.34%
0.53	4.47%	3.83%	2.95%	-0.67%
0.54	-1.11%	-2.97%	-3.71%	-6.18%



Gambar 10. Grafik Perbandingan *Thrust* pada rake 15

Dari grafik di atas jika dibandingkan dengan selisih *thrust* yang menggunakan sudut rake 0° terlihat selisih yang cukup besar dikarenakan variasi sudut rake 15° meningkatkan nilai *thrust* hingga 5% jika dibandingkan dengan sudut rake 0° , sehingga dengan pengurangan diameter hingga 7.5% ($J=0,54$) dari diameter awal masih dapat dihasilkan nilai *thrust* yang lebih besar dari model konvensional.

4.3.2. Pembahasan Perbandingan Thrust

Proses analisa dilakukan untuk melihat perubahan nilai torsi propeller berdasarkan perubahan diameter yang ditunjukkan dengan nilai J dan perubahan panjang *end plate*. Perbandingan dibagi menjadi 2 berdasarkan sudut rake yang digunakan.

Dari hasil analisa, torsi terendah pada sudut rake 0 yaitu pada J 0,54 dan panjang *end plate* 75 mm dengan nilai 3593,7 Nm, seperti yang telah terdapat pada (tabel 7) berikut :

Tabel 7. Tabel Torsi Propeller pada Rake 0

J	150 mm	100 mm	75 mm	50 mm	Model Asli
0.49					41266.3
0.50	47050.6	45376.6	44297.8	43035.1	
0.51	44458.6	42527.5	41707.4	40080	
0.53	41596.5	40295.6	38746.3	38442.7	
0.54	38553.4	37124.8	36257.5	35494.1	

Dari hasil analisa *torsi* dilakukan perbandingan nilai *torsi* antara sudut rake 0° dengan sudut rake 15° seperti yang telah terdapat pada (tabel 8) berikut:

Tabel 8. Tabel Presentase Perbandingan Torsi pada rake 0

J	150 mm	100 mm	75 mm	50 mm
0.50	12.29%	9.06%	6.84%	4.11%
0.51	7.18%	2.97%	1.06%	-2.96%
0.53	0.79%	-2.41%	-6.50%	-7.34%
0.54	-7.04%	-11.16%	-13.81%	-16.26%



Gambar 11. Grafik Perbandingan *Torsi* pada Rake 0

Dari grafik di atas dapat diketahui meskipun terjadi pengurangan diameter propeller sebesar 5% ($J=0,51$) nilai torsi *propeller* dapat melebihi torsi model konvensional akibatnya penambahan *end plate*.

Perbandingan kedua menggunakan variasi yang sama namun ada perubahan sudut rake menjadi 15° dan dari hasil analisa, torsi tertinggi pada sudut rake 15° ini yaitu pada J 0,54 dengan panjang *end plate* 50 mm dengan nilai 37120,5 Nm, seperti yang telah terdapat pada tabel 9:

Tabel 9. Tabel Torsi Propeller pada rake 15

J	150 mm	100 mm	75 mm	50 mm	Model Asli
0.49					41266.3
0.50	47971.1	46308.3	45952.1	44481.7	
0.51	45230.1	43723.1	43283.1	42312.6	
0.53	42675.6	41666.7	40846.9	39324.8	
0.54	40205.8	38832.5	38160.9	37120.5	

Dari hasil analisa torsi dilakukan perbandingan nilai torsi antara setiap panjang *end plate* sehingga diketahui selisih besaran *torsi* dengan model konvensional seperti yang telah terdapat pada (tabel 10) berikut:

Tabel 10. Tabel Presentase Perbandingan Torsi pada rake 15

J	150 mm	100 mm	75 mm	50 mm
0.50	13.98%	10.89%	10.20%	7.23%
0.51	8.76%	5.62%	4.66%	2.47%
0.53	3.30%	0.96%	-1.03%	-4.94%
0.54	-2.64%	-6.27%	-8.14%	-11.17%



Gambar 12. Grafik Perbandingan *Torsi* pada Rake 15

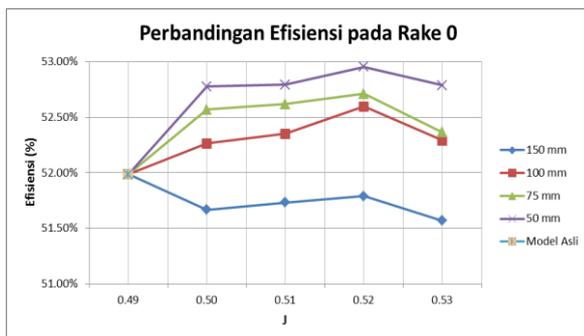
Dari grafik di atas jika dibandingkan dengan selisih torsi yang menggunakan sudut rake 0° terlihat selisih yang cukup besar dikarenakan variasi sudut rake 15° meningkatkan nilai *torsi* jika dibandingkan dengan sudut rake 0° karena besarnya nilai torsi juga bergantung pada besarnya nilai *thrust* dan keduanya berbanding lurus.

4.3.3. Pembahasan Perbandingan Efisiensi

Dari hasil analisa, *efisiensi* tertinggi pada rake 0 dan 15 dengan variasi panjang *end plate* 50 mm dengan rake 15° sebesar 54.43%, seperti yang telah terdapat pada (tabel 11 dan 12) berikut:

Tabel 11. Tabel *Efisiensi Propeller* pada sudut rake 0

J	150 mm	100 mm	75 mm	50 mm	Model Asli
0.49					51,99%
0.50	51.67%	52.27%	52.57%	52.78%	
0.51	51.73%	52.35%	52.62%	52.79%	
0.53	51.79%	52.60%	52.71%	52.95%	
0.54	51.57%	52.29%	52.37%	52.79%	



Gambar 13. Grafik Perbandingan Efisiensi pada Rake 0

Tabel 12. Tabel *Efisiensi Propeller* pada sudut rake 15

J	150 mm	100 mm	75 mm	50 mm	Model Asli
0.49					51,99%
0.50	52.25%	53.41%	53.63%	53.89%	
0.51	52.49%	53.42%	53.88%	54.13%	

0.53	52.62%	53.54%	54.12%	54.19%
0.54	52.78%	53.65%	54.21%	54.43%

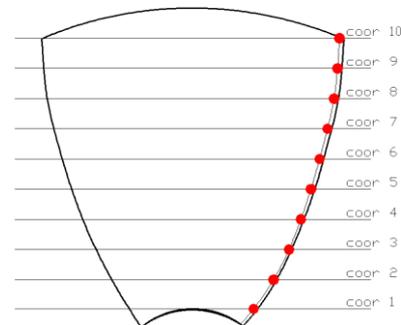


Gambar 14. Grafik Perbandingan Efisiensi pada Rake 15

Meningkatnya efisiensi dipengaruhi oleh nilai J, KT, dan KQ dalam hal ini nilai J dan KT mengalami peningkatan lebih besar dari nilai KQ sehingga efisiensi dapat menjadi lebih baik. Dari data di atas dapat dilihat kenaikan nilai efisiensi propeller dapat mencapai 2,44% dari model konvensional.

4.3.4. Pembahasan Perbandingan Pressure

Berikut adalah koordinat dari setiap titik dan garis yang digunakan untuk menentukan pressure pada hasil analisa.



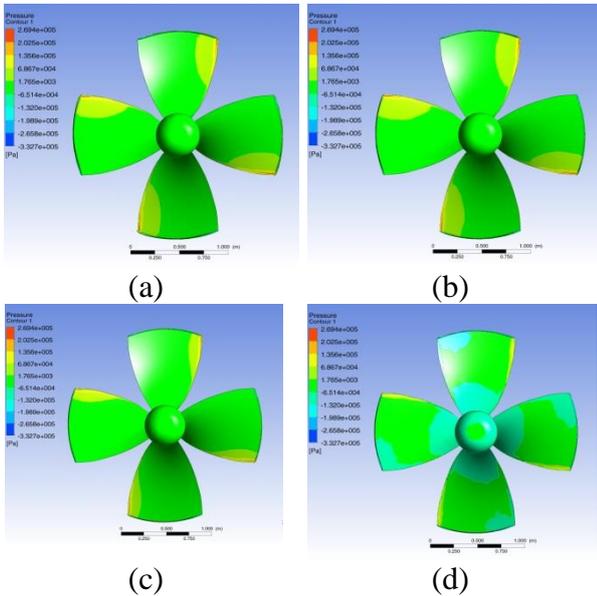
Gambar 15. Koordinat *Pressure*

Dari hasil analisa pada beberapa variasi panjang *end plate* diperoleh nilai *pressure* terendah sebesar -24564,4 Pa, seperti yang telah terdapat pada (tabel 13) berikut:

Tabel 13. Tabel *Pressure* rata-rata

J	150 mm	100 mm	75 mm	50 mm	
0.50	16268.9	39170.2	23141.5	-14672.4	Rake 0
0.51	9442.5	22629.5	6260.7	19865.2	
0.53	55001.5	50922.2	15865.8	31766.4	
0.54	10701.8	63452.5	13051.3	13154.9	
0.50	37202.5	-24564.4	26514.5	37202.5	Rake 15
0.51	27357.8	20132.7	23674.1	16501	
0.53	16024.5	5030.6	3728.2	38044.4	

Besarnya nilai *pressure* akan berpengaruh pada kondisi *propeller*. Jika *pressure propeller* terlalu rendah akan berdampak pada naiknya kavitasi sedangkan jika *pressure propeller* terlalu tinggi akan berdampak pada kekuatan daunnya. Analisa *pressure* ini dilakukan pada daerah dekat *leading edge*.



Gambar 16. *Pressure Contour* pada *pressure side* $J=0,50$ sudut rake 0° (a) 150mm, (b) 100mm, (c) 75mm, (d) 50 mm

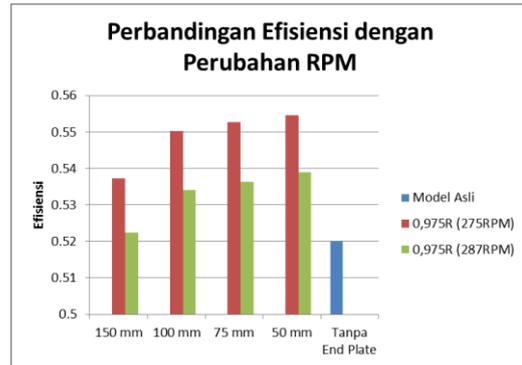
Pada gambar 16, daerah dengan *pressure* rendah ditunjukkan dengan warna biru dan daerah dengan *pressure* tinggi ditunjukkan dengan warna merah.

4.3.5. Pembahasan Perbandingan *Pressure*

Dilakukan analisa lebih lanjut pada beberapa model variasi menggunakan *end plate* yang memiliki nilai *thrust* tertinggi dengan tujuan untuk memperoleh nilai efisiensi propeller yang lebih optimal melalui pengurangan putaran *propeller*. Diperoleh hasil seperti ditunjukkan pada (tabel 14) sebagai berikut:

Tabel 14. Perbandingan efisiensi antara 275RPM dan 287 RPM

	150 mm	100 mm	75 mm	50 mm	Tanpa End Plate
Model Asli					51,99%
0,975R (275 RPM)	53.72%	55.03%	55.27%	55.47%	
0,975R (287 RPM)	52.25%	53.41%	53.63%	53.89%	



Gambar 17. Grafik Perbandingan Efisiensi dengan perubahan RPM

Dari grafik dapat diketahui bahwa pengurangan putaran *propeller* menjadi 275RPM dapat meningkatkan nilai efisiensinya hingga 3,48% dengan nilai *thrust* yang hampir sama dengan model konvensional seperti ditunjukkan pada (tabel 15) sebagai berikut:

Tabel 15. Perbandingan nilai *thrust* pada $J=0,50$ dengan putaran 275 RPM

	150 mm	100 mm	75 mm	50 mm	Tanpa End Plate
Model Asli					125779
0,975R (275 RPM)	127956	127363	125446	122163	

5. KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

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

1. Setelah dilakukan analisa model *propeller Kaplan 4.70* dengan variasi penambahan *end plate* pada setiap pengurangan diameter dengan sudut rake 0° dan 15° didapatkan hasil *thrust* yang memiliki nilai hampir sama besar dengan nilai *thrust* model konvensional yaitu 125446N dengan variasi pengurangan diameter hingga 2,5% dan panjang *end plate* 75 mm dengan putaran *propeller* sebesar 275RPM dan nilai *thrust* terbesar yaitu 146948N dengan variasi pengurangan diameter hingga 2,5% dengan panjang *end plate* 150 mm pada putaran *propeller* sebesar 287RPM.
2. Variasi *propeller Kaplan 4.70* yang dengan penambahan *end plate* dan pengurangan diameter dengan sudut rake 0° dan 15° diperoleh nilai *pressure* daun *propeller* paling rendah sebesar -24564,4Pa dengan

- variasi pengurangan diameter hingga 2,5% dengan menggunakan *end plate* berukuran panjang 100 mm.
3. Variasi *Propeller Kaplan 4.70* yang memiliki nilai efisiensi paling tinggi dan optimum yaitu dengan variasi pengurangan diameter sebesar 2,5% dan penambahan *end plate* dengan panjang 50 mm dan sudut rake 15° dengan putaran *propeller* sebesar 275RPM yang memiliki nilai efisiensi sebesar 55,47% atau 3,48% lebih baik dari model konvensional.
 4. Dari ketiga kesimpulan di atas untuk *propeller* yang optimum untuk digunakan adalah dengan nilai $J=0,50$ atau pengurangan diameter menjadi 0,975R dan panjang *end plate* 50 mm dengan sudut rake 15⁰ dengan putaran *propeller* sebesar 275 RPM, dengan nilai *thrust* sebesar 122163 N, dan nilai efisiensi sebesar 55,47%.

5.2. Saran

Tugas akhir yang disusun penulis masih memiliki keterbatasan dan kekurangan. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan tugas akhir ini dapat dikembangkan lagi secara mendalam dengan kajian yang lebih lengkap.

Adapun saran penulis untuk penelitian lebih lanjut antara lain :

1. Perlunya dilakukan kajian lebih mendalam lagi untuk perhitungan kavitasi dari setiap variasi *blade* dengan penambahan *end plate* akibat perbedaan besaran nilai *pressure* yang dihasilkan.
2. Penelitian masih dapat dikembangkan lebih lanjut dengan meninjau geometri *end plate* yang lebih optimum untuk digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] [1] VEEM Ltd. 2015. *VEEM Kaplan*. <http://www.veempropellers.com/veemkaplan/>. 6 Juni 2016.
- [2] Ommundsen, Andreas. 2015. *Unconventional Propeller Tip Design*. NTNU: Trondheim.
- [3] Gennaro, Giulio. 2012. *Improving the Propulsion Efficiency by means of Contracted and Loaded Tip (CLT) Propeller*. SINM: Genoa.
- [4] Adalid, Juan G dan Gennaro, Giulio. 2012. *Latest Experiences with Contracted and Loaded Tip (CLT) Propellers*. Sustainable Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resource.

- [5] D.Christ, Roberto, L.Wernli Sr, Robert, 2007, *The TUGBOAT Manual, user guide for observation*, Burlington, MA 01803: UK
- [6] Manik, Parlindungan, 2008, *Buku Ajar Propulsi Kapal*, Jurusan Teknik Perkapalan, UNDIP: Semarang.
- [7] Sanchez-Caja A., Gonzalez-Adalid J., Perez-Sobrino, M., dan Saisto, I. 2012. *Study of End-Plate Shape Variations for Tip Loaded Propellers Using a RANSE Solver*. 29th Symposium on Naval Hydrodynamics.
- [8] Harvald, Sv, Aa. 1992. *Tahanan dan Propulsi Kapal*. Surabaya : Airlangga University Press.
- [9] Brown M., Sanchez-Caja A., G Adalid J., Black S., Perez Sobrino, M., Duerr Phillip., Schroeder, S., dan Saisto, I. 2014. *Improving Propeller Efficiency Through Tip Loading*, 30th Symposium on Naval Hydrodynamics.