

SKRIPSI

PENGARUH VARIASI *DUCT PROPELLER* TERHADAP GAYA DORONG PADA KAPAL IKAN 30 GT

Disusun dan diajukan oleh:

**NUR ANNISA ARIF
D091 18 1011**



**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**PENGARUH VARIASI *DUCT PROPELLER* TERHADAP
GAYA DORONG PADA KAPAL IKAN 30 GT**

Disusun dan diajukan oleh

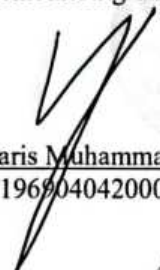
NUR ANNISA ARIF
D091181011

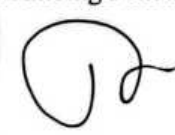
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 07 Maret 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


Prof. Ir. Andi Haris Muhammad, S.T., M.T., Ph.D
NIP 196904042000031002


Muhammad Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T
NIP 198701312019031007

Ketua Program Studi,


Dr. Eng. Ir. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.,Tech., M.Eng
NIP 198102112005011003



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Nur Annisa Arif
NIM : D091181011
Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{ PENGARUH VARIASI DUCT PROPELLER TERHADAP GAYA DORONG
PADA KAPAL IKAN 30 GT }

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 07 Maret 2024

Yang Menyatakan


Nur Annisa Arif



Optimized using
trial version
www.balesio.com

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
DAFTAR IS.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
ABSTRAK.....	x
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Kapal Ikan.....	7
2.2 <i>Propeller</i>	8
2.3 <i>Ducted Propeller</i>	17
2.4 Efisiensi Propulsi	20
2.5 <i>Computational Fluid Dynamic (CFD)</i>	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Lokasi Dan Waktu Penelitian.....	24
3.2 Study Literatur	24
3.3 Jenis Data.....	24
3.4 Prosedur Permodelan	26
Simulasi CFD.....	29
Diagram Alur Penelitian	36
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
Hasil Simulasi CFD	37



4.2 Efisiensi Propulsi	39
4.3. Pengaruh Variasi <i>Duct</i>	40
BAB V PENUTUP.....	41
5.1 Kesimpulan	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	42



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Kapal ikan 30GT INKA MINA 957	5
Gambar 2 <i>Propeller</i>	6
Gambar 3 <i>Blade Reference Lin</i>	8
Gambar 4 <i>Blade section</i>	9
Gambar 5 <i>Blade contour area</i>	9
Gambar 6 <i>Pitch propeller</i>	10
Gambar 7 Definisi <i>tip rake</i>	11
Gambar 8 <i>Skew propeller</i>	11
Gambar 9 <i>Ducted Propeller</i>	15
Gambar 10 <i>Ducted Propeller</i>	15
Gambar 11 Geometri <i>duct</i> sederhana	17
Gambar 12 <i>lines plan</i> kapal Perikanan KM.Inka Mina 759	26
Gambar 13 Model Lambung kapal Perikanan KM Inka Mina 759	27
Gambar 14 Model <i>Propeller</i> Kapal.....	28
Gambar 15 Model <i>Ducted Propeller</i>	28
Gambar 16 Model lambung kapal dengan <i>ducted propeller</i>	29
Gambar 17 Variasi diameter <i>duct</i> : (a) 0,78m, (b) 0,80m, (c) 0,82m	29
Gambar 18 <i>Boundary condition</i>	30
Gambar 19 Proses meshing pada Ansys CFX 18.1	31
Gambar 20 (a) <i>fine</i> , (b) <i>medium</i> , (c) <i>coarse</i>	32
Gambar 21 Grafik Nilai <i>Thrust</i> Hasil Simulasi CFX	33
Gambar 22 Grafik Nilai <i>Torque</i> Hasil Simulasi CFX	34
Gambar 23 Grafik Efisiensi Propulsi	38



DAFTAR TABEL

Table 1 Data kapal	21
Tabel 2 Koefisien bentuk kapal.....	22
Tabel 3 Data <i>Propeller</i>	22
Tabel 4 Data Motor Penggerak.	23
Tabel 5 Data <i>Duct</i>	23
Table 6 Validasi model lambung kapal dengan Maxsurf	26
Tabel 7 Perbandingan jumlah elemen (<i>fine,medium,course</i>).....	31
Tabel 8 Kondisi fisik dan aliran pada domain <i>fluida stationer</i>	32
Tabel 9 Kondisi <i>domain</i> kapal	32
Tabel 10 Kondisi <i>domain propeller</i>	33
Tabel 11 Kondisi <i>domain Duct</i>	33
Tabel 12 <i>Thrust</i> yang dihasilkan dari simulasi CFX.....	33
Tabel 13 Torsi yang dihasilkan dari simulasi CFX.....	34
Tabel 14 Nilai tahanan dan <i>thrust</i> pendekatan Maxsurf dan Ansys CFX.....	35
Tabel 15 Validasi hasil simulasi	37
Tabel 16 Nilai efisiensi propulsi	38



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
K_T	Koefisien gaya dorong propeller
K_Q	Koefisien <i>torque propeller</i>
J	Koefisien <i>advanced propeller</i>
V_A	Kecepatan air masuk yang melewati propeller
D	Diameter propeller
V	Kecepatan aliran fluida
ρ	<i>Densitas</i> /berat jenis fluida
μ	<i>Viskositas</i> fluida
g	Percepatan gravitasi
P	Tekanan <i>absolut</i>
T	Gaya dorong (N)
V_a	Kecepatan aliran (m/s)
Q	<i>Torque</i> (Nm)
n	Kecepatan putaran propeller (s^{-1})



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar <i>lines plan</i> kapal KM. INKA MINA 759	41
Lampiran 2. Data tahanan pada <i>software</i> Maxsurf	42
Lampiran 3. Perhitungan nilai taanan kapal.....	43
Lampiran 4. Hasil simulasi tahanan pada Ansys CFX 18.1.....	46
Lampiran 5. Gambar variasi diameter pada Rhinceros.....	49
Lampiran 6. Hasil simulasi dengan Ansys CFX R18.1	50
Lampiran 7. <i>Grid independen</i> atau jumlah elemen mesh pada setiap variasi <i>duct</i>	52
Lampiran 8. Hasil simulasi setiap total elemen <i>grid independen</i> pada Ansys CFX R18.1	54
Lampiran 9. Data <i>wageningen</i> propeller.....	69
Lampiran 10. Salinan perhitungan pada tahap <i>solution</i>	71



ABSTRAK

NUR ANNISA ARIEF. *PENGARUH VARIASI DUCT PROPELLER TERHADAP GAYA DORONG PADA KAPAL IKAN 30 GT* (dibimbing oleh Prof. Ir. Andi Haris Muhammad, S.T., Ph.D dan Muhammad Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T)

Kapal ikan merupakan salah satu transportasi laut yang sering digunakan terutama diperairan Indonesia. Kapal ikan membutuhkan kecepatan seefisien mungkin agar ikan hasil dari tangkapan dapat sampai tujuan dengan keadaan yang masih *fresh*, sehingga sistem propulsi menjadi salah satu acuan dalam menghasilkan kecepatan secara efisien. Sistem propulsi terbagi dalam beberapa jenis yang salah satunya itu *ducted propeller*. *Ducted propeller* merupakan propeller yang memiliki selubung atau *duct* atau biasa juga disebut dengan *kort nozzle*. Adapun prinsip kerja dari *kort nozzle* atau *duct* itu sendiri yaitu memusatkan aliran fluida yang masuk ke dalam propeller. Tujuan dari penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh *Ducted Propeller* terhadap karakteristik propeller meliputi *thrust* dan *torque*, peningkatan efisiensi propulsi serta pengaruh variasi diameter dari *ducted propeller* pada kecepatan konstan 5.504 m/s. Pada penelitian ini dilakukan variasi diameter *duct* yaitu 0.78 m, 0.80 m, dan 0.82 m. Metode pendekatan yang digunakan yaitu metode CFD (*Computational fluid dynamic*). Hasil penelitian menunjukkan penambahan *Duct* pada propeller kapal memiliki pengaruh dalam meningkatkan *thrust* atau *torque*. Efisiensi propulsi optimum dicapai saat penggunaan diameter *duct* 0.82 m yakni 27%.

Kata kunci: Kapal Ikan, *Ducted Propeller*, Efisiensi Propulsi, *Computational fluid dynamic*



ABSTRACT

NUR ANNISA ARIF. *THE EFFECT OF PROPELLER DUCT VARIATIONS ON THE FORCE ON A 30 GT FISHING VESSEL* (supervised by Prof. Ir.Andi Haris Muhammad, ST.,MT, Ph.D and Muhammad Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T)

Fish vessels are one of the frequent sea freight transportation, especially Indonesia. Fish ships need efficient asceiler as possible for the fish from the catch can be utiable purpose with a fresh state, so the propulsion system becomes one of the reference in earned speed efficiently. The propulsion system is divided into several types of one of which it is ducted propeller. Ducted propeller is a propeller that has a sheath or duct or commonly also called the nozzle cortection. The work principle of the Nozzle or Duct ort himself is to focus the flow of fluid that goes into the propeller. The purpose of this study, is done to know the effect of ducted propeller to the propeller characteristics include thrust, torque and RPS, improvement of efficiency of propulsions and the effect of diameter variation of ducted propeller at a constant speed of 5.504 m / s. In this study was done diameter diameter variation of 0.78 m, 0.80 m, and 0.82 m. The approach method used is CFD method. The results showed the addition of ducted on a ship propeller has an influence in increasing thrust or torque. The efficiency of optimum propulsion is achieved when the diameter diameter use 0.82 m is 27%.

Keywords: Fishing Boats, Ducted Propeller, Propulsion Efficiency, Computational fluid dynamics



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil 'alamin, puji syukur kehadiran Allah subhanawata'ala atas rampungnya skripsi ini. Tidak sedikit kendala yang menghadang penyusun dalam menyelesaikan skripsi ini, namun berkat rahmat dan hidayah-Nya telah membimbing penyusun untuk terus berusaha menyelesaikan salah satu mata kuliah di departemen Teknik Sistem Perkapalan, Universitas Hasanuddin. Ini merupakan persyaratan untuk menyelesaikan studi di departemen Teknik Sistem Perkapalan – Universitas Hasanuddin.

Penyusun harus mengakui, skripsi ini masih sangat jauh dari sempurna, semua karena keterbatasan waktu dan pengetahuan serta kemampuan penyusun sebagai manusia biasa. Untuk itu penyusun mohon maaf atas semua kekurangan dan kesalahan yang terjadi di dalam penyusunan skripsi “Pengaruh Variasi *Duct Propeller* Terhadap Gaya Dorong Pada Kapal Ikan 30 Gt” ini, serta penyusun berharap masukan dan saran agar kedepannya penyusun dapat lebih baik lagi. Dalam penyusunan skripsi ini, banyak pihak yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung, secara moril maupun materil. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:

1. Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
2. Prof. Ir. Andi Haris Muhammad, ST.,MT, Ph.D selaku pembimbing I yang senantiasa meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, kritik dan saran yang dimasukkan.
3. Muhammad Iqbal Nikmatullah. S.T., M.T. selaku pembimbing II yang senantiasa meluangkan waktunya untuk membantu penulis dengan bimbingan, kritik dan saran yang dimasukkan.
4. Prof. Daeng Paroka, ST., MT., Ph.D. dan Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, ST., M.Inf.Tech., M.Eng. selaku penguji I dan II.



aharuddin. S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik yang senantiasa memberikan sarannya selama proses perkuliahan. Seluruh dosen dan staf Departemen Teknik Sistem Perkapalan Universitas Hasanuddin

6. Mama dan Alm. Tetta selaku orangtua yang senantiasa memberikan doa, dukungan materi dan segala hal yang membuat penulis dapat menjalani perkuliahan sampai dititik ini.
7. Semua keluarga yang senantiasa memberi dukungan kepada penullis dalam penyelesaian skripsi ini.
8. Lela, S.T. sudah menjadi teman penulis dari sejak maba samapai sekarang selalu saling support.
9. Wahyu S.T. teman kp dan sudah bantu penulis (dipinjamkan macbook nya) untuk kerjakan skripsi di ansys.
10. Uni S.T. teman kp,teman kost dan teman baik yang paling suportif.
11. Fikar otw S.T teman labo yang hampir selalu temani penulis kerja running ansys sama-sama.
12. Ciban otw S.T. dan Fayad S.T. teman labo listrik yang selalu ngumpul sama-sama di labo mesin bersama penulis.
13. Teman – teman grub “WIB” yang penghuninya paling ramai selalu support prnulis dalam kondisi apapun biar tetap waras menyelesaikan skripsinya.
14. Teman – teman Zister 18’
15. Teman – teman dan Kanda senior Labo Propulsi

Gowa , 07 Maret 2024

Penulis



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia salah satu Negara yang memiliki pulau yang luas dan kegiatan perindustrian banyak dilakukan melalui jalur laut. Indonesia dengan kekayaan lautnya yang melimpah salah satunya di bidang perikanan. Maka dari itu kapal ikan berperang penting dalam industri ini. kapal ikan membutuhkan kecepatan seefisien mungkin agar ikan hasil dari tangkapan dapat sampai tujuan dengan keadaan yang masih *fresh*, sehingga system propulsi menjadi salah satu acuan dalam menghasilkan kecepatan secara efisien.

Aspek terpenting yang harus diperhatikan dalam pembuatan kapal yaitu salah satunya system propulsinya. System propulsi ialah mencakup system penggerak kapal. Alat penggerak yang dimaksud yaitu propeller. dimana propeller yang menggerakkan kapal ke depan atau mendorong kapal (Rakhmadi dkk., 2016). Yang di maksud dengan Propeller adalah alat penngerak pada system propulsi yang mengubah daya yang di hasil mesin utama menjadi gaya dorong atau *thrust* yang kemudian membuat kapal dapat bergerak ke depan. Propeller berotasi pada garis sumbu poros propeller. Dan pada saat pengoperasian normal atau *forward operation*, propeller akan berputar searah jarum jam jika di lihat dari arah buritan atau bagian belakang kapal (Luhur dkk., 2017).

Propeller memiliki banyak jenis atau tipe. Adapun salah satu jenis propeller yaitu Ducted Propeller merupakan propeller yang memiliki selubung atau duct atau biasa juga disebut dengan kort nozzle. Yang di maksud duct disini adalah yang menyelubungi peopeller atau baling-baling. Saat propeller berputar aliran fluida yang masuk melalui selubung akan mengalami peningkatan efisiensi beban dorong (Muhammmad dkk., 2013). Adapun prinsip kerja dari kort nozzle atau duct itu sendiri yaitu memusatkan aliran fluida yang masuk ke dalam propeller.

agar gaya dorong dari propeller lebih efisien. Sehingga dapat malkan thrust yang di hasilkan untuk mendorong kapal (Sihaloho dkk.,



Penelitian kali ini seperti yang diketahui menitik beratkan pada variasi duct nya yang dimaksud itu variasi diameter duct. Oleh Karena itu, spesifikasi yang akan dinilai dari variasi diameter agar dapat menentukan diameter duct yang tepat yaitu memiliki gaya dorong yang tinggi atau nilai thrust yang besar. Mengapa harus nilai thrust yang besar? Karena nilai thrust dapat membantu kecepatan kapal lebih maksimal. Kapal yang dimaksud disini adalah kapal penangkap ikan 30 GT. Untuk karakteristik desain seperti rasio panjang dan rasio ketebalan duct ditentukan dari grafik yang disediakan oleh penelitian sebelumnya (Koh dkk., 2015).

Dalam penelitian ini untuk didapatkan hasil dari analisis pengaruh variasi duct yang terkhusus pada diameter duct maka dilakukan dengan menggunakan software CFD (*Computation Fluid Dynamic*) untuk mendapatkan nilai thrust atau gaya dorong yang dihasilkan dari aliran fluida yang mengalir pada *ducted propeller* atau baling-baling berselubung secara akurat. Mengapa menggunakan aplikasi CFD ? karena aplikasi CFD merupakan salah satu aplikasi untuk menganalisis aliran suatu fluida dengan menggunakan metode numeric dan algoritma untuk menganalisa dan menyelesaikan permasalahan yang berhubungan dengan aliran fluida. CFD juga bertujuan untuk memprediksi semua yang di analisa secara akurat mengenai aliran fluida (Widayatno dkk., 2012).

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi diameter duct terhadap thrust dan torsi?
2. Bagaimana pengaruh variasi diameter duct terhadap efisiensi propulsi?

1.3 Batasan Masalah

Terkait masalah yang ada maka perlu adanya batasan masalah agar sesuai dengan permasalahan dan tujuan yang diharapkan serta dapat mempermudah dalam melakukan analisa. Maka adapun batasan masalah yang dibahas sebagai

it:

apal yang di gunakan yaitu kapal ikan 30 GT



2. Menganalisa satu macam jenis propeller yaitu ducted propeller dengan variasi diameter (0.78 meter, 0.80 meter , 0.82 meter)
3. Penelitian dilakukan dengan menggunakan *software* ANSYS CFX
4. Analisa data dikerjakan dengan membandingkan parameter propeller sebelum dan setelah penambahan *ducted propeller*
5. Analisa biaya tidak diperhitungkan.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Menganalisa nilai *thrust* dan *torque* pengaruh variasi diameter *duct* tersebut
2. Menganalisa efisiensi propulsi pengaruh variasi diameter *duct* tersebut.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Sebagai referensi dalam pemasangan *duct* pada Propeller kapal ikan 30 GT
2. Dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan permasalahan dalam penelitian ini.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan digunakan untuk mempermudah dalam menemukan gambaran dalam penulisan. Adapun sistematika penulisan dalam skripsi sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan mengenai (1) Latar Belakang, (2) Rumusan Masalah, (3) Batasan Masalah, (4) Tujuan Penelitian, (5) Manfaat Penelitian, dan (6) Sistematika Penulisan.



II TINJAUAN PUSTAKA

bab ini diuraikan mengenai teori-teori yang berkaitan dengan topik itian yang dapat membantu dalam menyelesaikan masalah. Teori-teori

yang akan dibahas adalah: (1) Kapal Ikan, (2) Propeller (baling-baling), (3) Ducted Propeller, (4) Efisiensi Propulsi, (5) *Computational Fluid Dynamic* (CFD).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini diuraikan penjelasan jenis metode penelitian yang digunakan untuk memperoleh data-data yang dibutuhkan, cara penyelesaiannya dan diagram alir penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan penyajian data-data yang telah diperoleh, proses pengolahan data serta hasil pengolahan data.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini akan disajikan secara singkat kesimpulan yang diperoleh dari pembahasan dan juga memuat saran-saran bagi pihak yang berkepentingan untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

1.7 Penelitian Tambahan

No	Penulis	Judul	Metode	Hasil penelitian
1	Koh, dkk (2015)	The Study of Ducted Propeller in Propulsion Performance of a Malaysia Fishing Boat	Uji model CFD dan eksperimental	melalui pemasangan ducted propeller kapal penangkap ikan dapat beroperasi dengan daya dorong yang lebih besar dan akan lebih irit dalam hal penggunaan bahan bakar. daya dorong yang dapat ditingkatkan hingga 23%.
	rian, dkk (20)	Analisa Nilai Thrust Ducted Propaller	Computational Fluid Dynamic	Berdasarkan analisa yang telah



		Dengan Variasi Diameter, Panjang & Tipe Kort Nozzle Menggunakan Metode CFD	(CFD)	dilakukan dapat disimpulkan bahwa pemakaian kort nozzle dapat menambah ataupun mengurangi nilai thrust dan nilai torque kapal. Tergantung pemilihan kort nozzle yang sesuai dengan tipe propeller yang dipakai.
3	Irfan, dkk (2017)	Analysis Effect Of Duct Length– Nozzle Diameter Ratio And Tip Clearance Variation On The Performance of K-Series Propeller	Computational Fluid Dynamic (CFD)	Berdasarkan hasil simulasi, analisis data dan pembahasan yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa semakin besar L_d/D propeller yang disalurkan maka nilai thrust yang dihasilkan akan semakin rendah, sebaliknya nilai torsi propeller akan semakin tinggi.
4	Widayatno, dkk (2012)	Analisa Aliran Pada Ducted Propeller Dengan Pendekatan Cfd (Computational Fluid Dynamics)	Computational Fluid Dynamic (CFD)	Dari hasil simulasi kedua model propeller didapatkan kenaikan gaya dorong sebesar 17% pada ducted propeller bila dibandingkan dengan propeller yang tidak menggunakan ducted, dimana hal



				ini bersesuaian dengan published data yang menunjukkan adanya peningkatan sebesar 15%.
5	Wasisto,dkk (2016)	Analisa Perbandingan Tipe Kort Nozzle Terhadap Gaya Dorong Propeller Dengan Metode Cfd	Computational Fluid Dynamic (CFD)	Dari hasil analisa keempat model nozzle tersebut, terlihat nilai Thrust terbesar untuk propeller Bseries terjadi pada Nozzle Shushkin tipe C dengan nilai 53,458 kN pada rpm 565, sedangkan untuk propeller kaplan terjadi pada nozzle Shushkin tipe C dengan nilai 58,311 kN pada rpm 565. Untuk nilai torque terendah pada propeller B-series terjadi pada Nozzle Shushkin tipe B dengan nilai 1,184 kNm pada rpm 350, sedangkan untuk propeller Kaplan terjadi pada Nozzle Shushkin tipe A dengan nilai 1,555 kNm pada rpm 350.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal Ikan

Menurut Undang-Undang RI Nomor 31/2004 pengertian kapal perikanan adalah kapal, perahu, atau alat apung lainnya yang dipergunakan untuk melakukan penangkapan ikan, mendukung operasi penangkapan ikan, pembudidayaan ikan, pengangkut ikan, pengolahan ikan, pelatihan perikanan, dan penelitian/eksplorasi perikanan (Kelautan, Perikanan and Indonesia, 2009). Secara umum kapal perikanan memiliki beberapa karakteristik yaitu kecepatan kapal, ketahanan stabilitas, kemampuan jelajah, konstruksi bentuk, mesin penggerak, fasilitas pengawetan dan pengelolaan, dan alat bantu penangkapan.



Gambar 1 Kapal ikan 30GT INKA MINA 759

sumber: (Muhammad Andi Haris, dkk., 2019)

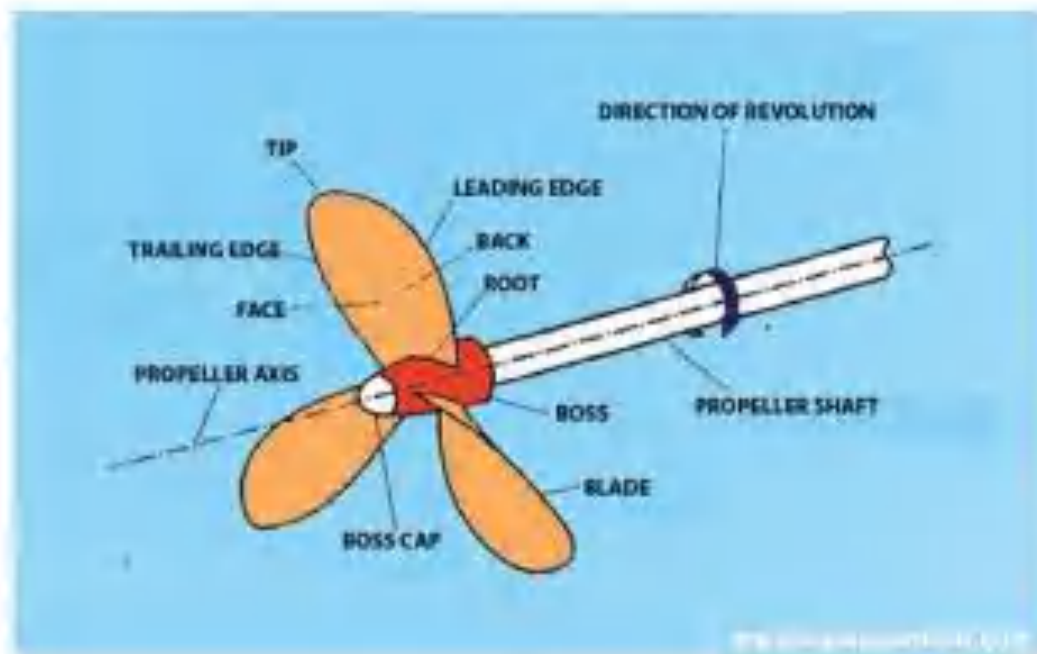
Kapal perikanan 30 GT dengan alat tangkap tipe *purse seine* yang diproduksi secara semi-modern oleh pengrajin di sepanjang perairan Sulawesi, umumnya menggunakan bahan konstruksi kayu dan *Fiber Reinforced Plastic* (FRP) nad, dkk.,2018). Kapal perikanan memiliki karakteristik kecepatan sesuai fungsinya untuk menangkap gerombolan ikan dan untuk segera a hasil tangkapan agar hasil tangkapan masih segar saat sampai di tempat



tujuan. Tidak semua kapal perikanan membutuhkan kecepatan, namun diantara kapal perikanan yang membutuhkan kecepatan dalam operasi adalah kapal *purse seine*, kapal *pole and line* dan kapal pengawas perikanan .

2.2 Propeller

Propeller adalah alat penggerak kapal dan merupakan salah satu dari bagian kapal dalam sistem propulsi yang paling penting. *Propeller* merupakan peralatan yang mengkonversi daya yang dihasilkan main engine (berupa gerak rotasi) menjadi gaya dorong atau *thrust* yang membuat kapal bergerak. *Propeller* sendiri dalam dunia perkapalan sering disebut sebagai *Marine Screw Propeller*.



Gambar 2 Propeller

sumber: (<http://www.marineinsight.com/>)

Propeller berotasi pada garis sumbu poros propeller. Pada kondisi pengoperasian normal (*forward operation*), *propeller* akan berotasi searah dengan arah jarus jam dilihat dari buritan atau belakang kapal. Bagian tepi dari daun *propeller* bagian sebut dengan *leading edge*. Sedangkan sisi sebaliknya disebut *trailing* mukaan daun *propeller* yang terlihat dari bagian sisi poros (menghadap



ke buritan kapal) disebut dengan *back*, sedangkan sisi lain (menghadap laut) disebut dengan *face*.

Jenis-jenis *propeller* :

1. *Fixed Pitch Propeller* (FPP) adalah *propeller* dengan *pitch* yang tetap. FPP memiliki daun *propeller* yang menyatu dengan *hub* atau *boss*.
2. *Controllable Pitch Propeller* (CPP) adalah *propeller* dengan *pitch* yang dapat diubah. CPP memiliki daun *propeller* yang dapat terpisah dari *hub* atau *boss*. Baling-baling jenis ini umumnya digunakan untuk kapal yang menggunakan putaran poros dengan rpm konstan (Muhammad, 2013). Pada kondisi kapal *manuver* dan bergerak mundur, *propeller* jenis ini sangat baik digunakan karena hanya dengan mengubah putaran atau mengubah arah *pitch propeller* pada kondisi konstan. Hal ini tentu akan mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk mengubah arah dorong kapal. Namun, hal yang perlu diingat bahwa CPP hanya memiliki satu desain *pitch*, mengubah posisi *pitch* berarti akan mengurangi efisiensi *propeller*.
3. *Ducted Propeller* adalah baling-baling dengan selubung. Saluran selubung akan membuat aliran di sekitar *propeller* lebih seragam sehingga pada saat *propeller* mengalami beban dorong yang tinggi, saluran selubung tersebut akan meningkatkan efisiensi *propeller*.
4. *Thruster* adalah baling-baling dengan poros vertikal sehingga memungkinkan untuk menghasilkan daya dorong dari arah yang diperlukan. Sudut *drive thruster* umumnya dibuat lebih rumit dibandingkan poros *propeller* normal sehingga *propeller* jenis ini lebih mahal. Efisiensi *propeller* yang dihasilkan juga menurun dikarenakan diameter *hub* lebih besar.
5. *Contra rotating* atau *propeller* yang dipasang secara berlawanan pada satu poros pendorong. Penempatan *propeller* pertama (depan) satu poros pendorong dengan *propeller* kedua (belakang) hal tersebut dapat membuat *propeller* kedua (belakang) dapat memulihkan rotasi *slip-stream* yang disebabkan oleh *propeller* pertama (depan).



1. Geometri Propeller

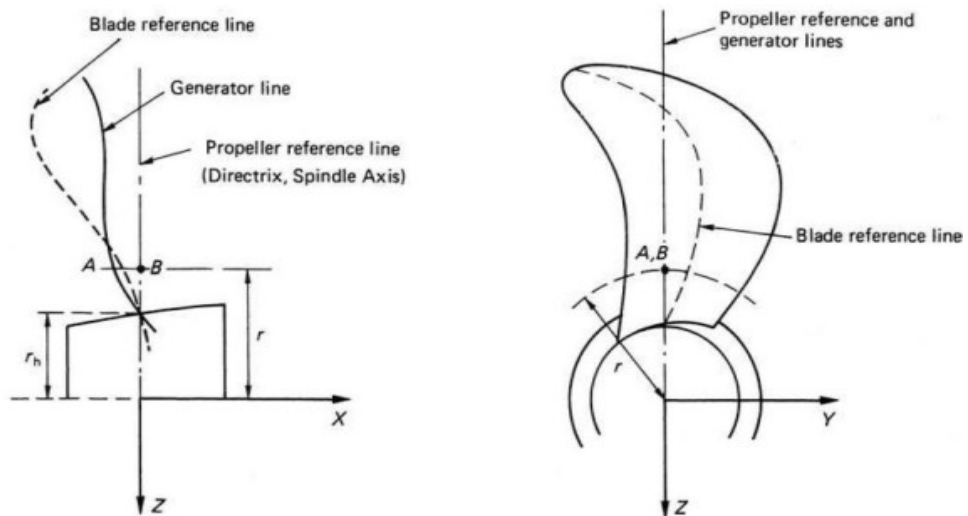
Dalam perencanaan dan penggambaran propeller dibutuhkan detail bentuk dan ukuran yang harus diperhitungkan. Propeller terdiri dari beberapa komponen yaitu (Muhammad dkk., 2013):

1. *Propeller blade* atau daun propeller yang diletakkan pada boss, dan boss dipasang pada ujung poros propeller. *Blade edge* atau pinggir daun propeller yang dalam hal ini dikenal ada dua yaitu *leading edge* dan *trailing edge*. Pinggir *blade* bagian dalam yang paling pertama menyentuh permukaan air disebut *leading edge*, pinggir *blade* bagian belakang disebut *trailing edge*.
2. *Blade Surface* atau permukaan daun propeller yang dalam hal ini juga dikenal dua permukaan yaitu *face* dan *back*. *Face* adalah permukaan propeller yang terlihat pada saat propeller di lihat dari belakang kapal dan berfungsi sebagai permukaan tekan, sedangkan *back* adalah permukaan propeller yang tidak terlihat pada saat propeller dilihat dari belakang kapal dan berfungsi sebagai permukaan isap.
3. *Boss Propeller* umumnya berputar simetris karena jangan sampai mengganggu aliran air bekerja. *Blade propeller* ditempatkan ke *hub* pada daerah *fillet* atau akar *blade*.

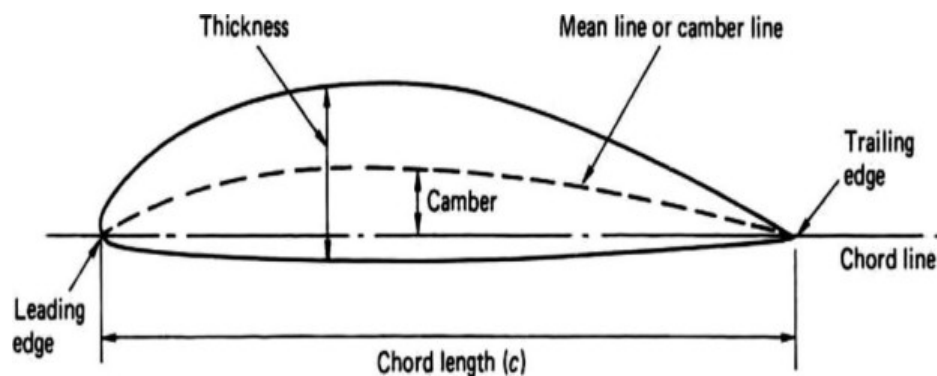
Geometri propeller terdiri dari:

1. *Propeller Line*
 - a. *Propeller reference line* atau garis normal terhadap poros propeller.
 - b. *Generator Line* adalah garis interaksi antara *pitch helical* sumbu-X poros terhadap *propeller reference line*.
 - c. *Blade reference line* adalah garis ketebalan *maximum blade propeller*



Gambar 3 *Blade Reference Line*

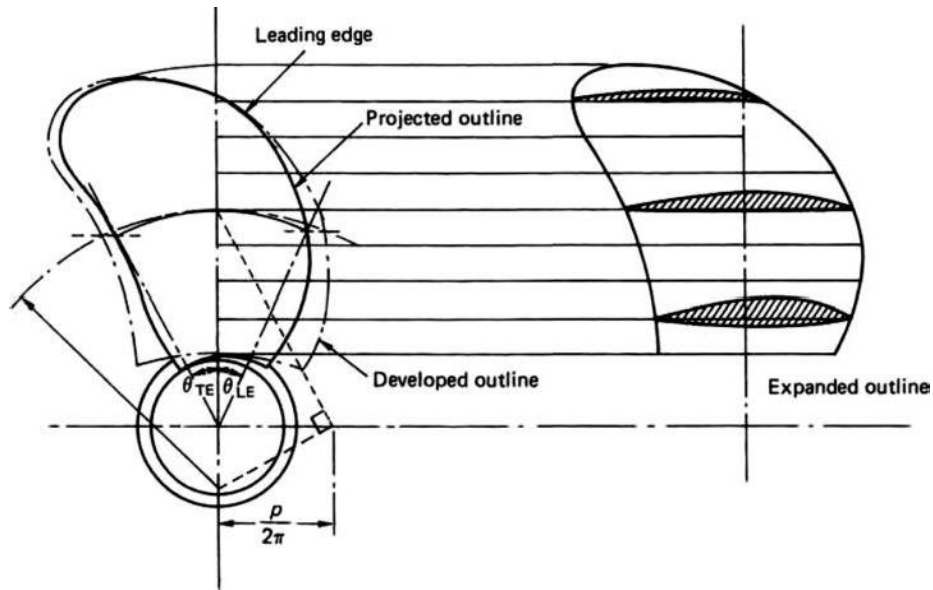
2. *Blade Section*

Gambar 4 *Blade section*

- a. *Chord Length (CL)* atau panjang chord adalah jarak antara *leading edge* dan *trailing edge* propeller pada *chord line* antara ujung *leading* dan *trailing edge*.
- b. *Camber* atau tebal profil $t(x)$ adalah jarak antara permukaan hisap (*section*) dan permukaan tekanan (*pressure*) yang diukur tegak lurus terhadap koordinat sumbu-y.
- c. *Angle of attack* adalah sudut antara *chord line* dan arah aliran fluida.



3. Blade Contour area



Gambar 5 Blade contour area

Dalam penggambaran baling-baling dikenal dua perbandingan luasan *blade* yang digunakan yaitu:

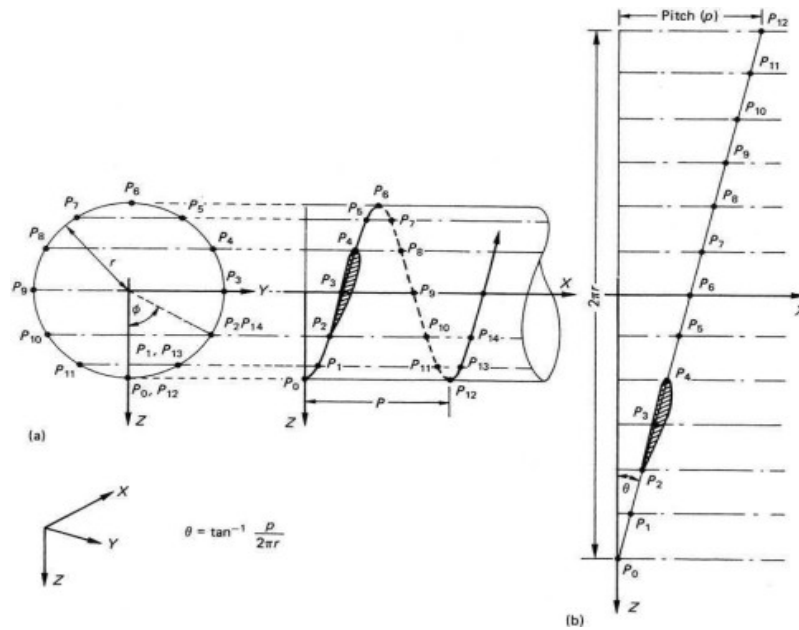
- a. *Projected area of blade* atau luasan *blade* kontur (AP) diberikan sebagai perbandingan antara luasan *blade* kontur (luasan *blade* secara *transversal*) dan luas keseluruhan bidang baling-baling ($A_0 = (0.25\pi D)^2$) dimana D adalah diameter baling-baling.
- b. *Developed area of blade* atau luasan *blade* (AD) diberikan sebagai perbandingan antara luasan *blade* (luasan *blade* secara *vertical*) dan luas keseluruhan bidang baling-baling (A_0).

4. Pitch

Pitch (H) adalah jarak aksial yang dihasilkan oleh daun propeller pada setiap putaran. *Pitch* dibagi menjadi 3 jika ditinjau dari fungsinya:

- a. *Constant pitch (circumferential constant)*
- b. *Radial Variable pitch*
- c. *Circumferential Variable pitch*

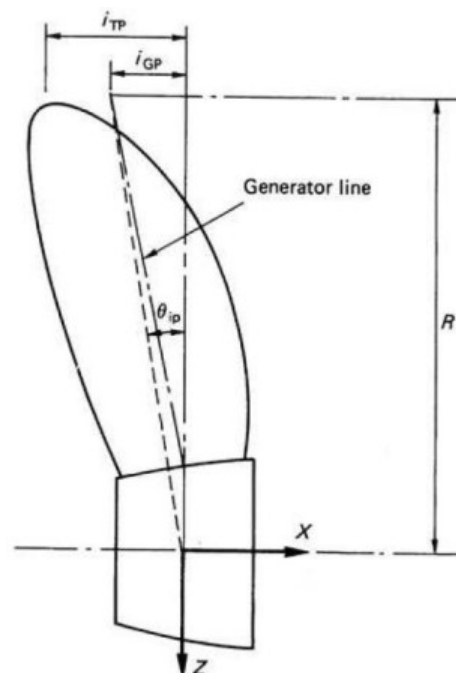




Gambar 6 Pitch propeller

5. Rake

Rake adalah jarak dari propeller plane ke *generator line* pada arah sumbu poros-x. *Rake propeller* dibagi dalam dua komponen *generator line rake* (i_G) dan *skew induced rake* (i_s) yang didefinisikan sebagai berikut:

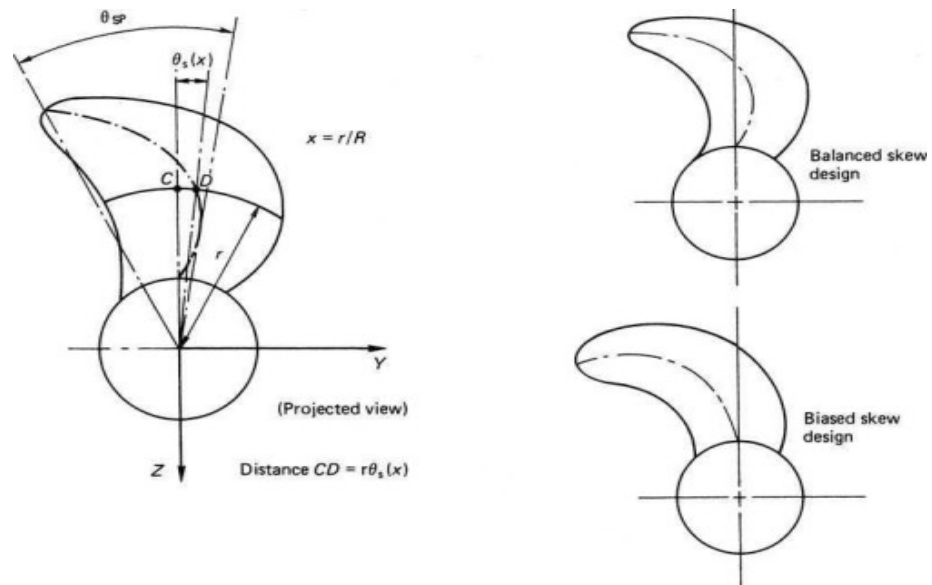


Gambar 7 Definisi tip rake



6. Skew

Setengah panjang garis chord dari masing-masing penampang radial baling-baling umumnya tidak garis lurus, tetapi melengkung terhadap putaran pisau. *Skew* umumnya dinyatakan sebagai perpindahan keliling ujung baling-baling dibuat non-dimensi dengan diameter baling-baling



Gambar 8 Skew propeller

2. Karakteristik Propeller

Setiap tipe propeller memiliki karakteristik kurva kinerja yang berbeda-beda sehingga kajian terhadap karakteristik propeller tidak dapat di-*generalized* untuk keseluruhan bentuk atau tipe dari propeller (Bernitsas dkk, 1981). Karakteristik baling-baling ada dua yaitu karakteristik baling-baling kapal dalam kondisi *open water* dan karakteristik baling-baling dibelakang lambung kapal.

a. Karakteristik Open Water Test

Open water test adalah pengujian propeller kapal tanpa menggunakan lambung. Tujuan dilakukannya *open water test* adalah untuk mendapatkan karakteristik *open water* yang dimana kesimpulan hasil pengujian *open water* biasanya dirangkum dalam sebuah set diagram yang digunakan untuk desain. *Propeller series* yang paling terkenal dan



sering digunakan adalah *Wageningen series* tipe B. pengujian dapat dilakukan di *Cavitation tunnel/water tunnel* dan *Towing Tank*. Hasil pengujian akan direpresentasikan dalam diagram $KT - KQ - J$.

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

$$K_Q = \frac{Q_{prop}}{\rho \times n^2 \times D^5} \quad (2)$$

$$J = \frac{V_A}{n \times D} \quad (3)$$

Dimana:

K_T = Koefisien gaya dorong propeller

K_Q = Koefisien torsi propeller

J = Koefisien *advanced* propeller

V_A = Kecepatan air masuk yang melewati propeller

D = Diameter propeller

Thrust adalah daya dorong yang dihasilkan oleh propeller kapal. Secara umum, gaya dorong (*thrust*) yang bekerja pada propeller dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya:

- a) Kecepatan aliran fluida (V)
- b) *Densitas*/berat jenis fluida (ρ)
- c) *Viskositas* fluida (μ)
- d) Diameter propeller (D)
- e) Percepatan gravitasi (g)
- f) Kecepatan putar propeller (n)
- g) Tekanan *absolut* (p)

- b. Karakteristik baling-baling yang berada dibelakang lambung (*self-propulsion*)

pengujian dilakukannya *self-propulsion test* adalah untuk mengonfirmasi daya dan kecepatan dan juga mengecek kemampuan propeller



menyediakan daya yang diperlukan dan untuk mendapatkan nilai faktor propulsi (*propulsion factor*) dan koefisien propulsi (*propulsion coefficient*) yakni arus ikut (*wake w*), daya dorong (*Thrust T*), dan efisiensi putaran relatif propeller (*relative rotatif frequency*). Istilah efisiensi relative rotatif diperkenalkan oleh *Froude* untuk membedakan daya yang diserap oleh baling-baling saat bekerja di bidang aliran yang seragam pada kecepatan tertentu dan yang diserap saat bekerja di gelombang yang tidak seragam dan memiliki kecepatan rata-rata yang sama:

$$\eta_R = \frac{\text{Power absorbed in open water of Speed } Va}{\text{power absorbed in mixed wake field of mean velocity } Va} \quad (4)$$

Biasanya η_R di kisaran $0.96 < \eta_R < 1.04$. Efisiensi *behind-hull* (η_b) yaitu efisiensi baling-baling ketika bekerja dibelakang kapal didefinisikan sebagai:

$$\eta_b = \eta_0 \cdot \eta_r \quad (5)$$

$$\eta_b = \frac{\eta_r K_T J}{2\pi K_Q} \quad (6)$$

Nilai thrust secara matematis dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$T = f(\rho D V g n p \mu) \quad (7)$$

Atau

$$T = \frac{R_T}{(1-t)} \quad (8)$$

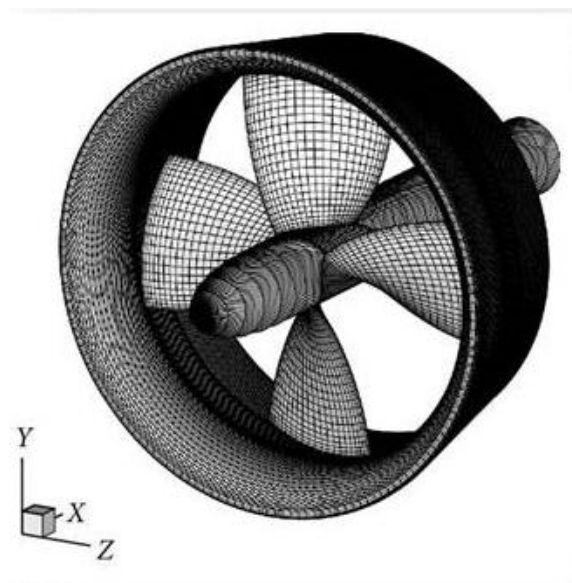
Torsi / *torque* Propeller (Q) diperoleh berdasarkan hasil *open water test* sebagai fungsi diameter (D) dan putaran propeller (n) sebagaimana persamaan berikut :

$$Q = K_Q \rho D^2 n^5 \quad (9)$$



2.3 Ducted Propeller

Ducted propeller adalah baling-baling yang diselubungi oleh *nozzle* berbentuk *aerofoil*. Ada 2 jenis *nozzle*, percepatan (*Accelerating duct*) dan perlambatan (*decelerating duct*). *Accelerating duct* terbentuk ketika sisi tekanan tinggi dari *aerofoil* menghadap ke luar sehingga bagian atas terlihat seperti sayap pesawat terbang terbalik dan *decelerating duct* terbentuk ketika sisi tekanan rendah dari *aerofoil* menghadap ke luar sehingga bagian atas terlihat seperti sayap pesawat terbang ke atas. *Nozzle* percepatan sekarang digunakan secara luas untuk kapal dengan muatan berat. Ini menawarkan sarana untuk meningkatkan efisiensi baling-baling bermuatan berat, dan menghasilkan daya dorong positif. Saluran percepatan umumnya akan meningkatkan kinerja efisiensi pada kapal dengan koefisien dorong yang tinggi, menurut Breslin. Misalnya kapal tunda, kapal pukat, kapal tanker, AUV dll (Koh dkk, 2015).

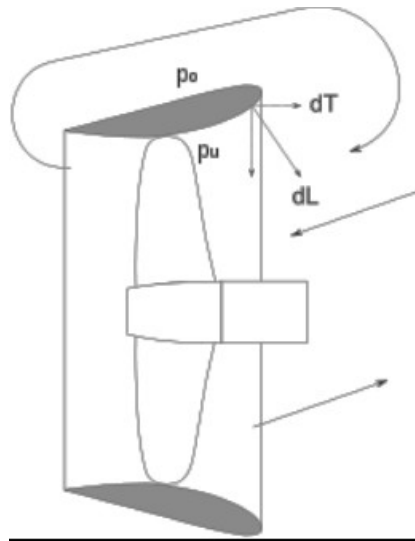


Gambar 9 *Ducted Propeller*

sumber : (Balazar dkk.,2011)

Ducted propeller juga dikenal dengan *kort nozzle* adalah salah satu jenis propeller tetap dengan *non-rotating nozzle*. Propeller jenis ini dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi dari propeller. Dengan adanya *duct* atau *nozzle* menyelubunginya, maka *thrust* propeller akan meningkat. Selain itu *nozzle* juga berguna sebagai pengarah aliran yang melewati propeller.





Gambar 10 *Ducted Propeller*
sumber : (widayatno,et al.2012)

Adapun prinsip kerja dari kort nozzle atau duct itu sendiri yaitu memusatkan aliran fluida yang masuk ke dalam propeller. Tujuannya agar gaya dorong dari propeller lebih efisien. Sehingga dapat memaksimalkan *thrust* yang di hasilkan atau dapat melakukan maneuver yang maksimal (Sihaloho dkk,2020). Asas kerja pompa aksial mirip dengan asas kerja *Ducted propaller*, kekuatan pusaran ikut pada ujung daun dapat turun atau bahkan hilang disebabkan oleh dinding tabung bila jarak antara ujung daun dan dinding tabung cukup kecil (Luhur dkk, 2017).

Dengan ukuran diameter masuk lebih besar daripada diameter keluar, maka volume dan laju aliran air yang melewati propeller akan naik berbanding lurus dengan diameter *inlet duct*. Penggunaan propeller jenis duct (*kort Nozzle*) di sekitar baling-baling adalah cara mudah untuk meningkatkan efisiensi propulsi dengan mengurangi rugi-rugi aksial. Dan juga sebagai baling-baling saluran yang memasok penghematan energi hingga 20 % (Çelik dkk, 2010).

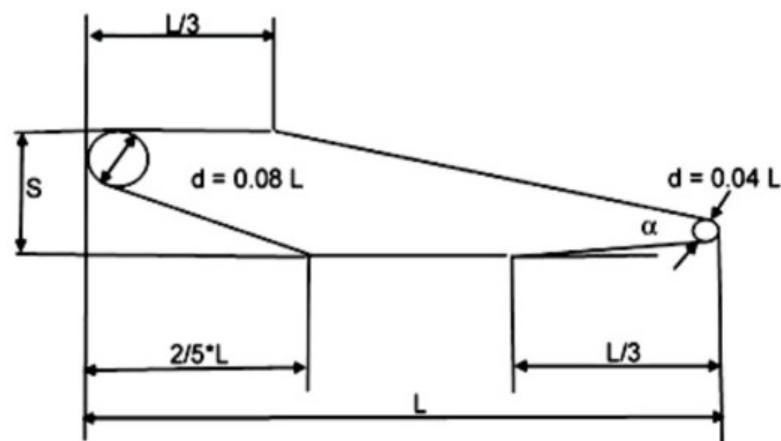
Kebutuhan daya pada sistem propulsi kapal brbanding lurus dengan konsumsi n bakar dan emisi yang dikeluarkan. Dengan mengurangi tenaga mesin, umsi bahan bakar dan emisi dapat dikurangi. Salah satunya energi saving



divies (ESD) yang posisinya daerah antara lambung buritan dan propeller yaitu *pre-duct* atau ducted propeller (Ariana dkk, 2023).

Terdapat tiga geometri duct yang menjadi pertimbangan dalam sebuah penelitian yaitu: ketebalan bagian *duct/ thickness* (s), posisi aksial rotor, celah antar ujung sudu dan *duct* bagian dalam (Remaud dkk, 1934). Dalam mendesain *ducted propeller* pada kapal ikan terdapat beberapa tahapan yaitu sebagai berikut (Koh dkk, 2015):

1. Menentukan propeller yang akan digunakan
2. Rasio panjang-diameter L/D , untuk *nozzle* yang akan dipasang ke kapal ikan / *trawle* maka dipilih *nozzle* dengan nilai efisiensi lebih tinggi dengan rasio panjang-diameternya. Grafik efisiensi baling-baling terhadap koefisien dorong CT (0.5).
3. Rasio ketebalan-panjang S/L , berperan penting dalam menentukan resiko pemisahan aliran pada permukaan *interior nozzle*. Karena kecepatan fluida yang tidak stabil sehingga menyebabkan beberapa kerugian pada gaya dorong (0.15).
4. *Tip clearance* C , sudut pandang hidrodinamika bahwa jarak bebas harus sekecil mungkin. Efisiensi *nozzle* akan berkurang bila ujungnya besar karena terjadi kavitasi dengan *clearance flow*.



Gambar 11 Geometri duct sederhana

(sumber :Koh dkk.,2015)



2.4 Efisiensi Propulsi

Efisiensi propulsi merupakan perbandingan antara nilai atau daya yang dihasilkan mesin dengan daya dihasilkan sistem penggeraknya atau sederhananya perbandingan daya *output* yang dihasilkan dan daya *input* ke dalam *system* (Muhammad, 2013).

- a. Efisiensi lambung η_{Hull} adalah rasio antara daya efektif (PE) dan daya dorong (PT). Sehingga rumus efisiensi lambung adalah

$$\eta_{hull} = \frac{PE}{PT} = \frac{R \times V_s}{T \times V_a} = \frac{T(1-t) \times V_s}{T \times V_s(1-w)} = \frac{(1-t)}{(1-w)} \quad (10)$$

- b. Efisiensi propeller adalah rasio antara daya dorong (PT) dengan daya yang disalurkan (PD). Persamaan berikut ini menunjukkan kedua kondisi dari efisiensi propeller :

Efisiensi Baling-baling (Open water):

$$\eta_o = \frac{T \times V_a}{2\pi Q D n} = \frac{KT}{KQ} \times \frac{Js}{2 \times \pi} \quad (11)$$

Efisiensi Baling-baling (Behind the Ship):

$$\eta_d = \frac{P_T}{P_D} = \frac{T \times V_a}{2\pi Q D n} \quad (12)$$

Dimana :

T = daya dorong (kN)

V_a = Kecepatan aliran (m/s)

Q_D = torsi (kN m)

n = kecepatan putaran propeller (put/s)

- c. Efisiensi elatif otatif η_{RR} adalah efisiensi yang muncul karena dua kondisi efisiensi propeller yaitu *open water* dan *behind the ship*. Efisiensi ini hanya perbandingan dari besaran nilai efisiensi yang berbeda sehingga nilai efisiensi ini dapat lebih dari satu.



$$\eta_{RR} = \frac{\eta_B}{\eta_0} \quad (14)$$

- d. Efisiensi *transmisi* poros η_s adalah rasio antara daya yang di terima dengan daya yang dikirimkan oleh *shaft*.

$$\eta_s = \frac{\eta_B}{\eta_0} \quad (15)$$

- e. Efisiensi propulsi adalah hasil dari keseluruhan efisiensi di masing-masing *phase* daya yang terjadi pada sistem propulsi kapal.

$$\eta_p = \eta_{hull} \times \eta_0 \times \eta_{RR} \times \eta_s \quad (16)$$

Saat ini telah banyak dilakukan kajian mengenai peningkatan efisiensi propeller, diantaranya mengubah diameter, jumlah daun dari propeller dan penambahan ducted, penambahan *energi saving device*, ataupun melakukan konfigurasi terhadap sistem propulsi dari kapal tersebut.

2.5 Computational Fluid Dynamic (CFD)

Computational fluid dynamic (CFD) merupakan metode numeric dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa permasalahan yang berhubungan dengan fluida. CFD bertujuan untuk memprediksi secara akurat tentang aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dalam system yang kompleks dengan melibatkan satu atau semua fenomena yang ada (Rakhmadi dkk, 2016). Aplikasi CFD juga merupakan salah satu aplikasi untuk menganalisis aliran suatu fluida dengan menggunakan metode *numeric* dan algoritma untuk menganalisa dan menyelesaikan permasalahan yang berhubungan dengan aliran fluida. CFD juga bertujuan untuk memprediksi semua yang di analisa secara akurat mengenai aliran fluida (widiyatno dkk, 2012).

Dalam pengaplikasian CFD yaitu untuk menyelesaikan masalah aliran pada eler yang telah mengalami kemajuan cukup pesat. Bahkan pada saat ini k CFD merupakan bagian dari proses desain dalam diagram spiral rancangan. Secara umum proses penghitungan *Computational Fluid*



Dynamic terdiri atas 3 bagian utama yaitu *Pre-processor*, *solver manager*, dan *Post-processor* :

1. *Pre-Processor*

Pre-processor adalah langkah utama dalam simulasi CFD yaitu membuat sebuah model yang akan dianalisa kemudian dilakukan pendefinisian domain dan kondisi batas. Setelah dilakukan pendefinisian domain dan kondisi batas selanjutnya model beserta ruang yang akan dianalisa dibagi-bagi kedalam beberapa grid atau disebut meshing. Pada tahap ini perlu dilakukan input permasalahan dengan aturan pada *software* meliputi:

- a. Membentuk geometri benda dan daerah sekeliling benda sebagai domain komputasi
- b. Membagi daerah domain menjadi bagian yang lebih kecil (*grid generation*)
- c. Seleksi fenomena fisik dan kimia yang perlu dimodelkan
- d. Pendefinisian properti fluida (pemilihan *boundary condition* (kondisi batas) pada kontrol volume atau sel yang berhimpit dengan batas domain dan penyelesaian permasalahan).

2. *Solver Manager*

Pada tahap ini dilakukan perhitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif, artinya perhitungan dilakukan hingga hasil menuju error terkecil atau hingga mencapai nilai konvergen. Perhitungan dilakukan secara menyeluruh terhadap kontrol volume dengan proses integrasi persamaan diskrit. Solver dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu *finite difference*, *finite element* dan *finite volume*. Secara umum metode *numeric solver* tersebut terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Perkiraan variabel yang tidak diketahui dengan menggunakan fungsi sederhana.
- b. Pendeskritan dengan substitusi perkiraan-perkiraan tersebut dengan persamaan-persamaan aliran yang berlaku dan berbagai manipulasi matematika.



- c. Penyelesaian dari persamaan aljabar metode *finite volume*. *Finite volume* digunakan pada berbagai *code* CFD komersil seperti: *PHOENICS*, *CFX*, *FLUENT*, *NUMECA*, *FLOW3D* dan *STARCD*.

3. *Post-Processor*

Tahap akhir merupakan tahap *post-processor* dimana hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik bahkan animasi dengan pola-pola warna tertentu. Dalam modul *post-processor* nilai-nilai numerik ini diolah agar pengguna dapat dengan mudah membaca dan menganalisis hasil-hasil perhitungan CFD. Hasil-hasil ini dapat disajikan dalam bentuk grafis-grafis ataupun kontur-kontur distribusi parameter-parameter aliran fluida. *Post processor* semakin berkembang dengan majunya *engineering workstation* yang mempunyai kemampuan grafik dan visualisasi cukup besar. Dalam simulasi, model-model yang digunakan didiskretisasi dengan metode formulasi dan diselesaikan dengan menggunakan bermacam-macam *algoritma numerik*. Metode diskretisasi dan algoritma terbaik yang digunakan tergantung dari tipe masalah dan tingkat kedetailan yang dibutuhkan.

