

**Variasi Jarak Antara Propeller dan Pengaruh Sudut Kemiringan Kemudi
Terhadap Thrust Pada KMP Bontoharu**

SKRIPSI

*Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Meraih Gelar
Sarjana Teknik Pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*



DISUSUN OLEH :

PRAPASKAH ESHA PUTRAam

D331 15 510

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2020

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Variasi Jarak Antara Propeller dan Pengaruh Sudut Kemiringan Kemudi
Terhadap Thrust Pada KMP Bontoharu

Nama Mahasiswa : Prapaskah Esha Putra

NIM : D33115510

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 26 November 2020

Pembimbing I,



Andi Haris Muhammad, ST, MT, Ph.D
NIP. 196904042000031002

Pembimbing II,



Muhammad Iqbal Nikamatullah, ST, MT
NIP. 198701312019031007

Menyetujui,

Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan



Andi Haris Muhammad, ST, MT, Ph.D
NIP. 196904042000031002

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan sesuai hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UUNo. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Gowa, 24 November 2020

Yang membuat pernyataan



Prapaskah Esha Putra

NIM : D33115510

Variasi Jarak Antara Propeller dan Pengaruh Sudut Kemiringan Kemudi Terhadap Thrust Pada KMP Bontoharu

Andi Haris Muhammad, ST, MT, Ph.D. ¹⁾ M. Iqbal Nikmatullah, ST, MT. ²⁾
Prapaskah Esha Putra³⁾

Departemen Teknik Sistem Perkapalan FT-UH

Email : preshaputra@gmail.com

Abstrak

Dalam proses perancangan dan pembuatan kapal, diperlukan sebuah Sistem Penggerak Kapal dan desain dengan perhitungan yang sangat sempurna, tidak terkecuali kemudi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui Bagaimana pengaruh jarak antara propeller terhadap thrust kapal dan bagaimana pengaruh sudut kemiringan kemudi terhadap thrust kapal, dengan menggunakan pendekatan CFD (Computational Fluid Dynamic) dengan variable variasi jarak antara propeller yang akan diuji adalah 0.9 m dan 2.3 m dan variasi sudut daun kemudi yang akan diuji adalah 0^0 , 20^0 , dan 35^0 didapat hasil pengaruh jarak antar propeller terhadap thrust kapal adalah semakin dekat jarak antar propeller maka semakin besar nilai drag force dan semakin kecil nilai lift forcenya lalu pengaruh kemudi terhadap lift force akan semakin meningkat untuk setiap kenaikan sudut lalu untuk kemudi dengan sudut dan untuk drag force akan semakin menurun.

ABSTRACT

In the process of design and shipbuilding, a mechanical system of a vessel and required a design a perfectly, no exception. Steering The purpose of this research is to find how the distance between propeller to thrust ships and how the influence the angle of inclination of the rudder of a vessel, thrust using the cfd (computational fluid dynamics) top with variations in distance between propeller test is 0.9 2.3 m and m and variation of the corners of the leaves the test is 0^0 , 20^0 , and the gap between 35^0 obtained the propeller against thrust ship is closer propeller gap between the more the drag force and the small value forcenya elevator and the influence of the lift force will increase to any increase in the corner and then to the wheel with the angles and to drag force could decrease.

Kata kunci : Propeller, Kemudi, Drag Force, Lift Force, CFD

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat serta kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan untuk menyelesaikan study guna meraih gelar sarjana pada Departemen Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Selain itu, skripsi ini merupakan tolak ukur keberhasilan mahasiswa menyelesaikan tugas akhir yang telah dibuat.

Hambatan tentu menjadi bagian dalam proses pembuatan skripsi ini, namun berkat dorongan semangat, motivasi dan bantuan berbagai pihak maka skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Selama proses pengerjaan skripsi ini, penulis telah mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak, untuk itu pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak **Andi Haris Muhammad, ST, MT, Ph.D** selaku pembimbing I atas arahannya dan telah meluangkan banyak waktu dan pemikirannya.
2. Bapak **M. Iqbal Nikmatullah, ST, MT.** selaku pembimbing II yang telah memberikan banyak masukan serta idenya.
3. Seluruh dosen terkhusus dosen Departemen Teknik Sistem Perkapalan serta staf yang telah menjadi ibu bapak yang baik selama masa studi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
4. Seluruh keluarga, terkhusus kedua orang tua, ayahanda **Decty Toge Manduli** dan ibunda **Nurlaelah Ismail** atas segala pengorbanan materi, kasih sayang dan

doa yang selalu dipanjatkan kepada anak – anaknya. Adik adik saya **Santa Pertiwi Putri dan Ratu Rosari Putri** yang banyak mengingatkan dan memberi semangat.

5. Teman Di Keluraga Mahasiswa Katolik Teknik (**KMKT**) khususnya angkatan 2015.
6. Teman Di Keluraga Mahasiswa Kristen Oikumene Teknik dan Perkapalan (**KMKO dan KMKO Perkapalan**) khususnya angkatan 2015.
7. Teman teman Teknik angkatan 2015 khusunya anak anak **PLATFORM** dan **WINDLAS5**
8. Kepada teman-teman **KKN PPM** Unhas Gelombang 102 Kota Parepare.
9. Teman Teman Pengurus BEM UH periode 2020 khususnya panitia **LKMM TL**.
10. Dan mereka semua yang namanya tidak sempat saya tuliskan , terimakasih untuk kalian semua.

Penulis menyadari bahwa karya tulis ini sangat jauh dari kata keserpunaan, karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi terciptanya suatu karya yang lebih bermutu. Akhirnya semoga karya kecil ini dapat bermanfaat bagi pengembangan illmu pengetahuan ke depannya.

Gowa, 12 Agustus 2020

DAFTAR ISI

Abstrak	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR GRAFIK	ix
DAFTAR SIMBOL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Batasan Masalah.....	2
I.4 Tujuan Penelitian.....	3
I.5 Manfaat Penelitian.....	3
I.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
II. 1 Kapal Fery	5
II. 2 Pengertian Propeler	5
II.2.1 Twin Screw Propeller	7
II. 3 Rudder	7
II.3.1 Klasifikasi Rudder.....	8
II.3.2 Dimensi Rudder.....	9

III.3.3 Gaya yang Bekerja pada Rudder.....	9
III.3.4 Twin Rudder.....	12
II. 4 THP (Thrust Horse Power).....	12
II.4.1 PERHITUNGAN DAYA MESIN.....	14
II. 5 Open Water Test.....	16
II. 6 Hukum Bernoulli	16
II. 7 Konsep CFD (Computational Fluid Dynamics).....	17
BAB III METODE PENELITIAN	29
III. 1 Tempat Dan Waktu Penelitian.....	29
III. 2 Studi Literatur.....	29
III. 3 Pengumpulan Data.....	30
III. 4 Software.....	31
III. 5 Diagram Alir Pengerjaan Tugas	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
IV.1 Pemodelan	41
IV.2 Tahap Simulasi.....	42
IV.2.1 Geometri	43
IV.2.2 Penentuan Zona Batas Dan Mesh	44
IV.2.3 Setup	45
IV.2.4 Solution	52
IV.2.5 Result	52
IV.2.6 Validasi Hasil Simulasi Ansys CFX R18.1	52
IV.3 Pembahasan Hasil Simulasi	54

BAB V PENUTUP	61
V.1. Kesimpulan.....	61
V.2. Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	62

DAFTAR TABEL

Tabel III. 1 Data Kapal.....	30
Tabel III. 2 Data Propeller dan Kemudi Kapal	30
Tabel III. 3 Kondisi fisik dan aliran pada domain fluida rotasi	36
Tabel III. 4 Pengaturan kondisi batas <i>Inlet</i>	37
Tabel III. 5 Pengaturan kondisi batas <i>outlet</i>	37
Tabel III. 6 Pengaturan <i>solver control</i>	38
Tabel IV. 1 Kondisi fisik dan aliran pada domain fluida rotasi	45
Tabel IV. 2 Pengaturan kondisi batas <i>Inlet</i>	46
Tabel IV. 3 Pengaturan kondisi batas <i>outlet</i>	47
Tabel IV. 4 Domain Kemudi.....	47
Tabel IV. 5 Domain jarak antar Propeller (kanan) 2.3 m.....	48
Tabel IV. 6 Domain jarak antar Propeller (kiri) 2.3 m.....	49
Tabel IV. 7 Domain jarak antar Propeller (kanan) 0.9 m.....	50
Tabel IV. 8 Domain jarak antar Propeller (kiri) 0.9 m.....	51
Tabel IV. 9 Pengaturan <i>solver control</i>	52
Tabel IV. 10 Validasi Model.....	53
Tabel IV. 11 Nilai Drag Propeller Pada Simulasi CFD	54
Tabel IV. 12 Nilai Lift Propeller Pada Simulasi CFD	55
Tabel IV. 13 Nilai Drag dan Lift Pada Kemudi	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Dimensi rudder (BKI Vol. II, 2009)	9
Gambar II. 2 Gaya yang bekerja pada rudder (Principles of Naval Architecture Volume II – Propulsion, 1988).....	10
Gambar II. 3 Faktor Jarak Antara Kemudi.....	12
Gambar II. 4 Fungsi THP/PT	12
Gambar II. 5 Konfigurasi propeller dan rudder (Molland dan Turnock, 1991).....	14
Gambar III. 1 Dimensi Boundary.....	33
Gambar III. 2 Meshing Model Propeler.....	34
Gambar III. 3 Hasil Simulasi	39
Gambar IV. 1 Model jarak antar propeller 2.3 m.....	42
Gambar IV. 2 Model jarak antar propeller 0.9 m.....	42
Gambar IV. 3 Enclosure model jarak antar propeller 2.3 m	43
Gambar IV. 4 Enclosure model jarak antar propeller 0.9 m	44

DAFTAR GRAFIK

Grafik IV. 1 Nilai Drag Pada Model 2.3 M Dan 0.9 M	55
Grafik IV. 2 Nilai Fift Pada Model 2.3 M Dan 0.9 M	56
Grafik IV. 3 Nilai Drag Dan Lift Kemudi Pada Model 2.3 M.....	58
Grafik IV. 4 Nilai Drag Dan Lift Kemudi Pada Model 0.9 M.....	59

DAFTAR SIMBOL

A = Luas mid-plane rudder yang berada di belakang poros

A_f = Luas mid-plane rudder yang berada di depan poros

c = Lebar rudder

b = Tinggi rudder

X_1 = Lebar bagian bawah rudder

X_2 = Lebar bagian atas rudder

L = Lift force

D = Drag force

α = Angle of attack

V = Kecepatan fluida

CL = Koefisien lift force

CD = Koefisien drag force

ρ = Density of fluid (kg/m³)

A = Luas penampang rudder

T = Thrust

V_a = Kecepatan aliran masuk

P = Tekanan

g = percepatan gravitasi ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$)

h = ketinggian (m)

x = Koordinat Sumbu X

y = Koordinat Sumbu Y

z = Koordinat Sumbu Z

u = Komponen Kecepatan U

v = Komponen Kecepatan V

w = Komponen Kecepatan W

t = Waktu

ρ = Densitas

E_t = Energi Total

p = Tekanan

q = Heat Flux

Re = Bilangan Reynold

Pr = Bilangan Prandtl

F = Gaya kemudi;

V_d = Kecepatan kapal;

$K_1 =$ Koefisien aspect ratio Λ

$\Lambda = \text{—}$

$h_m =$ Rata – rata tinggi rudder blade

$A_t =$ Movable rudder area + area of rudder horn

$K_2 =$ Koefisien tipe dan profil kemudi

$K_3 =$ Koefisien lokasi kemudi

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Indonesia menjadi negara kepulauan terbesar di dunia yang memiliki jumlah pulau sebanyak 16.056 pulau. Untuk itu perlu penghubungan pulau satu ke pulau yang lain demi menunjang pemerataan pembangunan dan ekonomi. Salah satu sarana penghubung antar pulau tersebut adalah kapal.

Definisi kapal dalam Undang-undang no. 17 tahun 2008 mengenai Pelayaran, yang menyebutkan Kapal adalah “kendaraan air dengan bentuk dan jenis tertentu, yang digerakkan dengan tenaga angin, tenaga mekanik, energi lainnya, ditarik atau ditunda, termasuk kendaraan yang berdaya dukung dinamis, kendaraan di bawah permukaan air, serta alat apung dan bangunan terapung yang tidak berpindah-pindah.” Dengan demikian, kapal tidaklah semata alat yang mengapung saja, namun segala jenis alat yang berfungsi sebagai kendaraan, sekalipun ia berada di bawah laut seperti kapal selam. Ketika sebuah kapal berlayar di laut, kapal harus dapat dikendalikan sesuai jalur yang ditentukan agar dapat bergerak lurus, berputar, ataupun menghindar pada keadaan darurat (Imron, 2010).

Oleh sebab itu dalam proses perancangan dan pembuatan kapal, diperlukan sebuah Sistem Penggerak Kapal dan desain dengan perhitungan yang sangat sempurna, tidak terkecuali kemudi kapal. Kemudi atau Rudder pada kapal adalah hal yang sangat

penting dalam kontrol permukaan hidrodinamik pada kapal dalam mengontrol gerakan horisontal di kapal. Kemudi memiliki fungsi penting yaitu untuk mengubah arah gerak kapal dengan mengubah arah arus cairan yang mengakibatkan perubahan arah pada kapal. Rudder yang baik akan memberikan respon yang baik terhadap kapal, sehingga kapal dapat memposisikan diri dengan baik.

Saat ini telah dilakukan sejumlah peneliti dalam meningkatkan kemampuan maneuvering kapal sebagaimana ketentuan IMO yaitu dengan melalui penggunaan daun kemudi ganda dan propeler ganda (TRTP). Merujuk dari inovasi tersebut maka penelitian ini mengambil judul **“Variasi Jarak Antara Propeller dan Pengaruh Sudut Kemiringan Kemudi Terhadap Thrust Pada KMP Bontoharu ö 0**

I.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dikemukakan, maka dapat diidentifikasi bagaimana mengembangkan penelitian ini. Beberapa permasalahan yang akan dianalisa pada penelitian ini meliputi :

1. Bagaimana pengaruh jarak antara propeller terhadap thrust kapal.
2. Bagaimana pengaruh sudut kemiringan kemudi terhadap thrust kapal.

I.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih fokus dan terarah, maka permasalahan yang akan dibahas dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Penelitian ini dilakukan pada KMP Bontoharu.
2. Variasi jarak antara propeller yang akan diuji adalah 0.9 m dan 2.3 m
3. Variasi sudut daun kemudi yang akan diuji adalah 0^0 , 20^0 , dan 35^0 .
4. Asumsi aliran di depan propeler steady-uniform.
5. Analisa propeler dalam keadaan *open water*.
6. Metode perhitungan menggunakan metode CFD.
7. Simulasi menggunakan software Ansys CFX R18.1.
8. Analisa biaya tidak diperhitungkan.

I.4 Tujuan Penelitian

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

1. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh jarak antara propeller terhadap thrust kapal.
2. Untuk mengetahui pengaruh sudut kemiringan kemudi terhadap thrust kapal.

I.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Sebagai referensi untuk penggunaan jarak antara propeller yang efektif pada kapal ferry.
2. Dapat menjadi sebagai referensi dalam penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan masalah ini.

I.6 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah mendapatkan gambaran dalam pembahasan, maka ringkasan sistematika penulisan ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan permasalahan secara umum yang meliputi : Latar Belakang, Rumusan Masalah, Batasan Masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, dan Sistematika Penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini diuraikan tinjauan pustaka serta teori – teori yang berkaitan dengan topik penelitian sebagai teori pendukung dan digunakan dalam menyelesaikan serta membahas permasalahan penelitian yang terdiri dari : kapal fery, teori propeler, kemudi kapal, nilai thrust dan metode perhitungan Computational Fluid Dynamic (CFD).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini diuraikan penjelasan jenis metode penelitian yang digunakan untuk memperoleh data – data yang dibutuhkan dan cara penyelesaiannya.

BAB IV PEMBAHASAN

Pada bab ini diuraikan hasil pengolahan data, hasil penelitian yang diperoleh dan pembahasan hasil penelitian tersebut.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini menyajikan kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II. 1 Kapal Fery

Kapal Ferry atau yang juga biasa dikenal dengan kapal penyebrangan adalah sebuah kapal transportasi jarak dekat yang memenuhi syarat-syarat pelayaran di laut yang digunakan untuk menyelenggarakan perhubungan tetap misalnya saja pelayaran antar pulau. Kapal Ferry memiliki peranan yang sangat penting dalam sistem pengangkutan terutama bagi kota-kota yang berada di pesisir pantai. Selain itu juga dengan adanya kapal Ferry memungkinkan Anda untuk membuat transit secara langsung diantara kedua tempat tujuan anda dengan biaya yang lebih kecil apabila dibandingkan dengan jembatan atau pun terowongan. Oleh karena itu kegunaan yang utama dari kapal Ferry ini adalah digunakan sebagai sarana penyebrangan termasuk dalam menyeberangkan kendaraan atau alat transportasi darat, misalnya saja seperti mobil, truk, dan lain sebagainya.

Kapal ferry mempunyai kriteria tersendiri dalam perencanaannya, antara lain menyangkut stabilitas kapal, kebutuhan luas geladak, batasan atas panjang dan sarat air kapal serta kemampuan manuvernya.

II. 2 Pengertian Propeler

Propeller Kapal adalah salah satu penggerak kapal dan termasuk dalam sistem permesinan kapal. Apabila kapal menggunakan mesin sebagai penggerak maka peranan akan propeller atau lebih di kenal baling baling akan sangat penting.

Propeler memberikan kekuatan dengan mengubah rotasi gerak ke gaya dorong. Propeler terdiri dari beberapa daun Propeler (*blade*) dan beroperasi seperti perputaran sekrup. Perbedaan tekanan antara depan dan belakang permukaan berbentuk *blade* yang menghasilkan akselerasi air dibelakang Propeler sehingga menghasilkan gaya dorong. (Triasniawan Tutug : 2010)

Secara umum kapal yang bergerak di media air dengan kecepatan tertentu, maka akan mengalami gaya hambat (*resistance*) yang berlawanan dengan arah gerak kapal tersebut. Besarnya gaya hambat yang terjadi harus mampu diatasi oleh gaya dorong kapal (*thrust*) yang dihasilkan dari kerja alat gerak kapal (*propulsor*). Daya yang disalurkan (*PD*) ke alat gerak kapal adalah berasal dari daya poros (*PS*), sedangkan daya poros sendiri bersumber dari daya rem (*PB*) yang merupakan daya luaran motor penggerak kapal. (Surjo W. Adji : 2005)

Pada umumnya propeler diletakkan pada kedudukan yang serendah mungkin di bagian belakang kapal untuk memaksimalkan gaya dorong yang akan dihasilkan. Sebuah Propeler harus mempunyai diameter sedemikian rupa, sehingga bila kapal dalam keadaan bermuatan penuh, propeler tersebut akan terbenam dengan memadai, sehingga dapat menghindari sejauh mungkin terjadinya fenomena terikutnya udara (*airdrawing*), dan pemacuan Propeler (*racing*), ketika kapal mengalami gerakan angguk (*pitching*). (Sv. Aa. Harvald, Tahanan dan Propulsi Kapal : 1992).

II.2.1 Twin Screw Propeller

Berdasarkan jumlahnya propeller terbagi menjadi dua yakni, baling-baling tunggal (single screw) dan baling-baling ganda (twin screw). Baling-baling tunggal dipergunakan hampir pada semua bentuk dan tipe kapal karena lebih praktis dalam pemasangan dan perawatan yang lebih mudah. Jenis single screw ini kebanyakan menggunakan baling-baling putar kanan. Sementara itu, Baling-baling ganda pada umumnya dipasang pada kapal tunda dan Ferry dengan pertimbangan adanya dua mesin yang sejenis (memiliki kapasitas yang sama) tetapi lebih kecil dari mesin tunggal sehingga dapat menghemat pemakaian ruang mesin. Selain itu jika salah satu mesin gagal maka operasional kapal tetap berjalan meskipun dengan kemampuan yang lebih rendah.

II.3 Rudder

Rudder atau kemudi merupakan alat mekanis pada kapal yang berfungsi untuk merubah arah aliran fluida yang dihasilkan oleh putaran propeller, sehingga mengakibatkan perubahan arah haluan kapal. Bagian-bagian utama dari sistem pengemudian dapat dikelompokkan dalam empat bagian utama, yaitu:

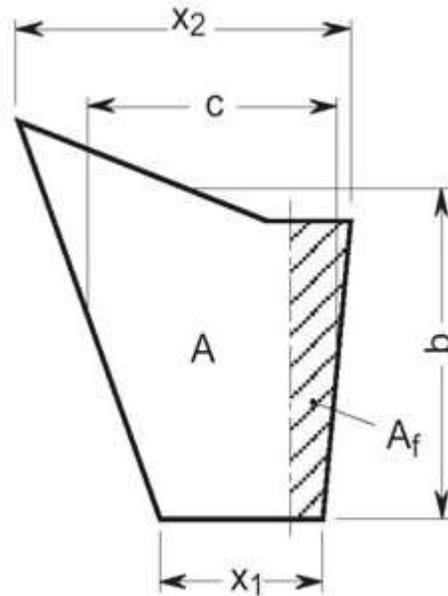
- a) Kemudi, bagian yang berfungsi sebagai alat untuk membelokkan kapal sesuai dengan sudut belok yang dibutuhkan dengan memanfaatkan aliran fluida yang dihasilkan oleh propeller.
- b) Unit kontrol, bagian yang berfungsi untuk mengontrol dan mengendalikan kerja dari sistem pengemudian.

- c) Unit tenaga, bagian yang berfungsi untuk memberikan tenaga yang nantinya digunakan untuk proses menggerakkan poros kemudi.
- d) Unit transmisi, bagian yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga dari unit tenaga ke kemudi, maupun dari kontrol pada ruang kemudi ke sistem pengemudian.

II.3.1 Klasifikasi Rudder

- A) Berdasarkan letak daun kemudi terhadap poros kemudi
 - ◁ Kemudi biasa (unbalance) yaitu daun kemudi yang terletak dibelakang poros kemudi.
 - ◁ Kemudi balance yaitu luas daun kemudi yang terbagi dua bagian yang sama di bagian depan dan belakang poros kemudi.
 - ◁ Kemudi semi balance yaitu pada bagian atas daun kemudi biasa sedangkan bagian bawah merupakan kemudi balance.
- B) Berdasarkan letak terhadap sepatu.
 - ◁ Kemudi meletak.
 - ◁ Kemudi menggantung.
 - ◁ Kemudi setengah menggantung.

II.3.2 Dimensi Rudder



Gambar II. 1 Dimensi rudder (BKI Vol. II, 2009)

Keterangan :

A = Luas mid-plane rudder yang berada di belakang poros

A_f = Luas mid-plane rudder yang berada di depan poros

c = Lebar rudder

b = Tinggi rudder

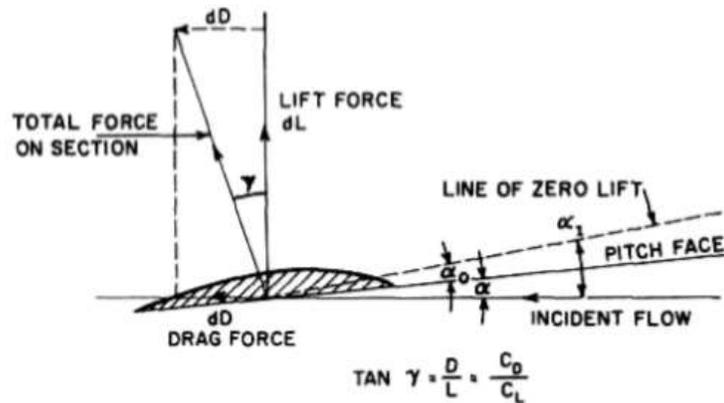
X_1 = Lebar bagian bawah rudder

X_2 = Lebar bagian atas rudder

III.3.3 Gaya yang Bekerja pada Rudder

Aliran fluida pada lambung kapal yang tercelup air sebelum mengenai daun kemudi pada dasarnya adalah simetris. Arah kapal tidak berubah karena aliran yang

dihasilkan saling menyeimbangkan satu sama lain. Oleh karena itu untuk merubah arah kapal dibutuhkan gaya tambahan, yaitu gaya pada daun kemudi. Dengan adanya daun kemudi yang membentuk arah fluida dengan sudut α pada kecepatan yang konstan maka muncullah gaya pada daun kemudi yang tidak simetris. Gaya ini disebut gaya kemudi, gaya inilah yang menyebabkan perubahan arah haluan kapal. Gaya kemudi merupakan resultan dari drag force dan lift force. Istilah lift digunakan pada analisa gaya ke atas suatu foil aerodynamic, maka dari itu dinamakan gaya lift (angkat) sebab umumnya foil aerodynamic digunakan untuk mengangkat pesawat. Namun istilah lift force juga digunakan pada menganalisa gaya suatu foil kemudi untuk membelokkan kapal ke arah samping. Sedangkan drag force merupakan gaya pada kemudi yang arahnya berlawanan dengan arah laju kapal.



Gambar II. 2 Gaya yang bekerja pada rudder (Principles of Naval Architecture Volume II – Propulsion, 1988)

Besarnya lift force dan drag force yang terjadi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{_____} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$\text{_____} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan,

L = Lift force

D = Drag force

α = Angle of attack

V = Kecepatan fluida

CL = Koefisien lift force

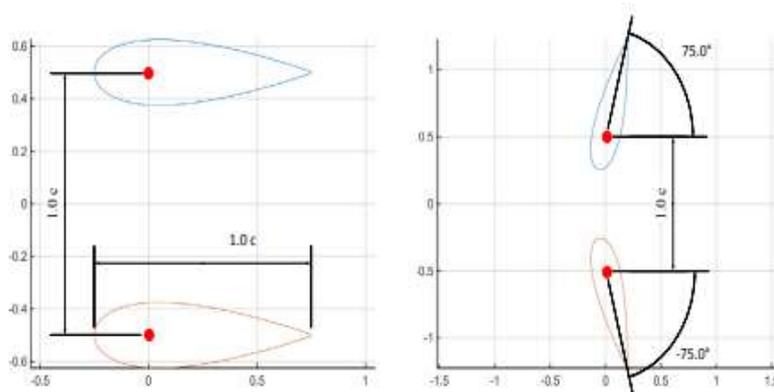
CD = Koefisien drag force

ρ = Density of fluid

A = Luas penampang rudder

III.3.4 Twin Rudder

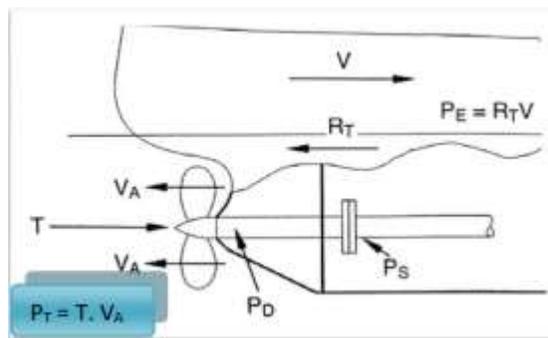
Menurut J. Liu and R. Hekkenberg. Faktor yang mempengaruhi jarak antara kemudi adalah luas daun kemudi itu sendiri dimana semakin kecil jarak maka semakin besar nilai kecepatan yang dihasilkan dan berikut sketsa factor jarak antara kemudi



Gambar II. 3 Faktor Jarak Antara Kemudi

II. 4 THP (Thrust Horse Power)

THP (Thrust Horse Power) adalah gaya dorong yang digunakan oleh propeller untuk menggerakkan kapal,



Gambar II. 4 Fungsi THP/PT

Dari gambar diatas, maka nilai THP dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$THP = T.Va \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

T = Thrust

Va = Kecepatan aliran masuk

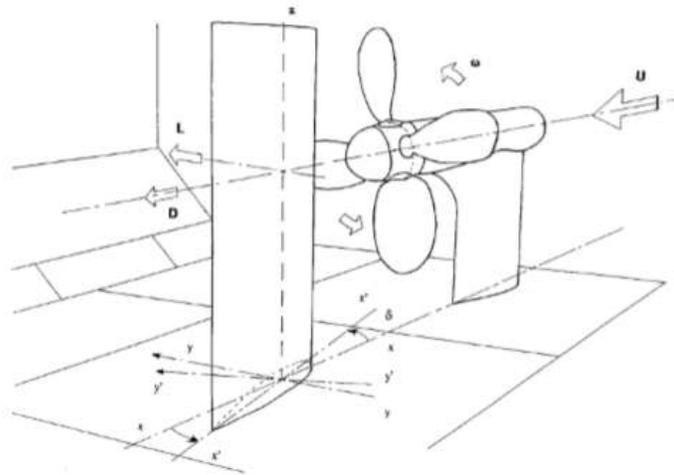
Thrust adalah gaya dorong yang ditimbulkan dari gaya angkat / lift pada bagian belakang propeller yang bergerak serta searah dengan gerakan kapal. Thrust akan semakin kecil akibat bertambahnya beban tarik (Tahanan kapal) tetapi putaran propeller memperbesar pada momen torsi konstan. Dimana thrust maksimum terjadi pada bollard pull.

Thrust dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Caldwells: 1988) :

$$T = RT / (1 - t) \dots\dots\dots (2.2)$$

Ketika kapal bergerak maju. Propeller akan berakselerasi dengan air. Akselerasi tersebut akan meningkatkan momentum air. Berdasarkan hukum kedua newton, gaya ekuivalen dengan peningkatan akselerasi momentum air disebut thrusht intinya THP adalah daya yang dikirimkan propeller ke air

$$THP = EHP / \eta_H \dots\dots\dots (2.3)$$



Gambar II. 5 Konfigurasi propeller dan rudder (Molland dan Turnock, 1991)

II.4.1 PERHITUNGAN DAYA MESIN

DHP adalah daya yang diserap oleh propeller dari sistem perporosan atau daya yang dihantarkan oleh sistem perporosan ke propeller untuk diubah menjadi daya dorong :

$$DHP = EHP / P_c \dots\dots\dots (2.6)$$

EHP adalah daya yang diperlukan untuk menggerakkan kapal di air atau untuk menarik kapal dengan kecepatan *v*. (Tahanan dan Propulsi, Harvald, 6.2.1 hal 135) berikut perhitungannya :

$$EHP = R_{tdinas} \times V_s \dots\dots\dots (2.7)$$

Coeffisien propulsive (Pc)

$$P_c = \eta_H \times \eta_{rr} \times \eta_o \dots\dots\dots (2.8)$$

$$G h k u k g p u k " n c o d w p i " * J + "$$

$$\eta_H = (1-t)/(1-w) \dots\dots\dots(2.9)$$

$$w = 0.55C_b - 0.20 \dots\dots\dots(2.10)$$

wake factor untuk twins screw

$$t = k.w \dots\dots\dots(2.11)$$

nilai k antara 0.7 – 0.9 dan diambil 0.7

pada umumnya diambil angka sekitar 1,05 untuk nilai efisiensi lambung.

$$G h k u k g p u k " t g n c v k h " t q v c v k h " * t t +$$

Efisiensi relatif rotatif, η_{rr} Nilai η_{rr} untuk single screw ship berkisar antara 1.0 – 1.1, sedangkan untuk twin screw ship besarnya berkisar antara 0.95 – 1.0.

$$G h k u k g p u k " r t q r w n u k " * q +$$

Nilai efisiensi ini diambil dari nilai efisiensi terbesar untuk propeler yang tidak mengalami kavitasi. Nilainya antara 40% - 70%.

Shaft Horse Power (SHP)

Untuk kapal yang kamar mesinnya terletak di bagian belakang akan mengalami losses sebesar 2%, sedangkan kapal yang kamar mesinnya pada daerah midship kapal mengalami losses sebesar 3%. Pada perencanaan ini kamar mesin ada di belakang, sehingga losses yang terjadi hanya 2%. (Principal of Naval Architecture hal 131).

$$SHP = DHP / \eta_s \eta_b \dots\dots\dots(2.12)$$

Daya Mesin (BHP)

$$\text{BHP}_{\text{scr}} = \text{SHP} \dots\dots\dots(2.13)$$

BHP_{mcr} adalah daya BHP_{scr} diambil 85%

II. 5 Open Water Test

Open Water Test adalah pengujian model baling-baling (propeller) yang bertujuan untuk mendapatkan data mengenai karakteristik dan performa yang dihasilkan oleh desain propeller. Pengujian ini bisa dilakukan pada kolam uji Towing Tank atau kolam uji Cavitation.

Pengujian Open Water Test dilakukan dengan memutar propeller pada kecepatan tertentu dengan memvariasikan kecepatan V_a , sehingga akan dapat diukur nilai Speed, Rpm, Thrust dan Torque dari Propeller. Dengan demikian akan dapat dicari efisiensi propeller (η_0) dan K_T , K_Q dari Openwater testnya. (Nalli,2011).

II. 6 Hukum Bernaoulli

Hukum Bernoulli menyatakan bahwa kenaikan kecepatan aliran fluida akan menyebabkan penurunan tekanan fluida secara bersamaan atau penurunan energi potensial fluida tersebut. Intinya adalah tekanan akan menurun jika kecepatan aliran fluida meningkat.

Persamaan Bernoulli berhubungan dengan tekanan, kecepatan, dan ketinggian dari dua titik point (titik 1 dan titik 2) aliran fluida yang bermassa jenis . Persamaan ini

berasal dari keseimbangan energi mekanik (energi kinetik dan energi potensial) dan tekanan.

$$\text{Tekanan} + E_{\text{kinetik}} + E_{\text{potensial}} = \text{konstan} \quad (2.14)$$

Dalam bentuk lain, persamaan Bernoulli diatas dapat dituliskan menjadi:

$$- \quad - \quad (2.15)$$

dimana:

- < P adalah tekanan (Pascal)
- < rho adalah massa jenis fluida (kg/m³)
- < v adalah kecepatan fluida (m/s)
- < g adalah percepatan gravitasi (g = 9,8 m/s²)
- < h adalah ketinggian (m)

Angka 1 dan angka 2 menunjukkan titik atau lokasi tempat fluida tersebut diamati. Misalnya seperti pada gambar di bawah ini: titik 1 memiliki diameter yang lebih besar dibanding titik 2. Hukum Bernoulli dapat menyelesaikan untuk setiap dua titik lokasi pada aliran fluida.

II. 7 Konsep CFD (Computational Fluid Dynamics)

CFD merupakan metode penghitungan dengan sebuah kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi komputer untuk melakukan perhitungan pada tiap-tiap elemen pembagiannya. Prinsipnya adalah suatu ruang yang

berisi fluida yang akan dilakukan penghitungan dibagi-bagi menjadi beberapa bagian, hal ini sering disebut dengan sel dan prosesnya dinamakan meshing. Bagian-bagian yang terbagi tersebut merupakan sebuah kontrol penghitungan yang akan dilakukan oleh aplikasi atau software. Kontrol - kontrol penghitungan ini beserta kontrol-kontrol penghitungan lainnya merupakan pembagian ruang yang disebutkan tadi atau meshing.

Terdapat 3 macam teknik solusi numeric : beda hingga (*finite difference*), elemen hingga (*finite element*) dan metode spectral.

- ◁ Metode Beda Hingga bekerja dengan mengganti suatu persamaan differensial dengan syarat batas menjadi sebuah sistem persamaan linier yang dilakukan dengan mendiskretisasi daerah asal dan mengubah turunan pada persamaan dengan hampiran beda hingga pusat.
- ◁ Metode Elemen Hingga adalah suatu metode yang membagi benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (finite). Bagian – bagian ini disebut elemen yang dihubungkan dengan nodal (node). Kemudian dibangun persamaan matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda ini disebut meshing.
- ◁ Metode Spectral adalah formulasi dari Metode Elemen Hingga yang menggunakan polinomial *Piecewise*. Metode Spektral lebih memilih fungsi – fungsi basis polinomial berdimensi tinggi yang tidak seragam. Dengan derajat kebebasan yang lebih sedikit per node, dapat berguna untuk mendeteksi kelemahan kecil. Non-keseragaman node membantu membuat matriks massa diagonal, yang menghemat

waktu dan memori komputer. Namun, Metode Spectral kesulitan dalam pemodelan geometri yang kompleks.

Kerangka utama metode numerik untuk dasar sebuah solver terdiri dari langkah:

- ◁ Aproksimasi variable-variabel aliran yang tidak diketahui dengan fungsi-fungsi sederhana.
- ◁ Diskretisasi dengan substitusi aproksimasi ke dalam persamaan atur aliran dan manipulasi matematis lanjut.
- ◁ Solusi persamaan-persamaan aljabar. Perbedaan utama di antara ketiga macam teknik adalah pada cara aproksimasi variablevariabel aliran dan proses diskretisasi.

Secara ringkas Computational Fluid Dynamic memprediksi secara kuantitatif apa yang akan terjadi ketika terjadi aliran fluida dan seringkali terjadi kombinasi dengan hal – hal berikut :

- Aliran Perpindahan Kalor
- Reaksi kimia
- Mass Transfer
- Pergerakan Komponen Mekanik
- Perubahan Fase Benda
- Tegangan dan Perpindahan yang terjadi pada benda Solid

Secara umum kerangka kerja Computational Fluid Dynamic meliputi formulasi persamaan-persamaan transport yang berlaku, formulasi kondisi batas yang sesuai,

pemilihan atau pengembangan kode-kode komputasi untuk mengimplementasikan teknik numerik yang digunakan.

Program Computational Fluid Dynamic yang digunakan disini adalah sebagai alat bantu pemodelan atas konfigurasi Propeler dan daun kemudi yang akan dianalisa. Dari pemodelan ini nantinya akan diperoleh data distribusi tekanan yang akan diolah lebih lanjut sehingga hasil akhir diperoleh thrust dan torsi Propeler. [Muh. Zainal Abidin, 2012]

Computational Fluid Dynamic merupakan ilmu sains dalam penentuan penyelesaian numerik dinamika fluida. Secara umum proses penghitungan Computational Fluid Dynamic terdiri atas 3 bagian utama yaitu Pre-processor, Processor, Post-processor. (Muh. Zainal Abidin, 2012).

1. Pre-processor

Pre-processor adalah tahap dimana data diinput mulai dari pendefinisian domain serta pendefinisian kondisi batas atau boundary condition. Langkah-langkah dalam tahap ini adalah sebagai berikut :

- Ø Pendefinisian geometri yang dianalisa
- Ø Grid generation, yaitu pembagian daerah domain menjadi bagian-bagian lebih kecil yang tidak tumpang tindih
- Ø Seleksi fenomena fisik dan kimia yang perlu dimodelkan
- Ø Pendefinisian properti fluida

- Ø Pemilihan boundary condition (kondisi batas) pada kontrol volume atau sel yang berhimpit dengan batas domain
- Ø Penyelesaian permasalahan

Data yang diperlukan pada batas tergantung dari tipe kondisi batas dan model fisik yang dipakai (turbulensi, persamaan energi, multifasa, dll). Data yang diperlukan pada kondisi batas merupakan data yang sudah diketahui atau data yang dapat diasumsikan. Tetapi asumsi data yang dipakai harus diperkirakan mendekati yang sebenarnya. Input data yang salah pada kondisi batas akan sangat berpengaruh pada hasil simulasi. Dibawah ini beberapa kondisi batas pada Ansys CFX :

a. Velocity Inlet

Kondisi batas velocity inlet digunakan untuk mendefinisikan kecepatan aliran dan besaran skalar lainnya pada sisi masuk aliran. Kondisi batas ini hanya digunakan untuk aliran incompressible.

b. Mass Flow Inlet

Nilai tekanan gauge digunakan sebagai tebakan awal oleh CFX, selanjutnya akan dikoreksi sendiri sejalan dengan proses iterasi. Metode spesifikasi arah aliran dan turbulen sama dengan kondisi batas velocity inlet.

c. Pressure Inlet

Data tekanan total (absolute), tekanan gauge, temperatur, arah aliran dan dari nilai tekanan operasi dan tekanan gauge. Metode spesifikasi arah aliran dan turbulensi sama dengan kondisi batas velocity inlet.

d. Pressure Outlet

Pola aliran ini harus dimasukkan nilai tekanan statik, temperatur aliran balik (backflow) dan besaran turbulen aliran balik kondisi batas yang dipakai pada sisi keluar fluida dan data tekanan pada sisi keluar dapat di ketahui nilai sebenarnya.

e. Outflow

Kondisi batas ini digunakan apabila data keluar pada sisi keluar tidak diketahui sama sekali pada sisi keluar di ekstrapolasi dari data yang ada pada aliran sebelum mencapai sisi keluar.

f. Pressure Far-Field

Kondisi batas ini untuk memodelkan aliran kompresibel free-stream yang mempunyai dimensi yang sangat panjang jarak antara inlet dan outletjauh. Besaran yang dimasukan adalah tekanan gauge bilangan Mach, temperatur aliran arah aliran dan besarnya turbulensi pada sisi keluar.

g. Dinding (wall)

Kondisi batas ini digunakan sebagai dinding untuk aliran fluida dalam saluran atau dapat disebut juga sebagai dinding saluran. Kondisi batas ini digunakan juga sebagai pembatas antara daerah fluida (cair dan gas) dan padatan.

h. Symmetry dan Axis

Pada panel kondisi batas untuk kedua kondisi batas ini tidak ada input data yang diperlukan. Kondisi batas simetri digunakan apabila model geometri kasus yang bersangkutan dan pola aliran pada model tersebut simetri. Kondisi batas ini juga dapat digunakan untuk memodelkan dinding tanpa gesekan pada aliran viskos. Sedangkan

kondisi batas axis digunakan sebagai garis tengah (centerline) untuk kasus 2D axisymmetry.

i. Periodic

Kondisi batas ini hanya dapat digunakan pada kasus yang mempunyai medan aliran dan geometri yang periodic, baik secara translasi atau rotasi.

j. Cell Zone : Fluid

Kondisi batas ini digunakan pada kontinum model yang didefinisikan sebagai fluida. Data yang dimasukkan hanya material fluida, didefinisikan sebagai media berpori.

k. Cell Zone : Solid

Data yang dimasukkan hanya material padatan didefinisikan heat generation rate pada kontinum solid . sedangkan kondisi batas ini digunakan pada kontinum model yang didefinisikan sebagai padatan.

l. Porous Media

Kondisi batas ini digunakan dengan cara mengaktifkan pipihan porous zone pada panel fluida. Porous zone merupakan pemodelan khusus dari zona fluida selain padatan dan fluida. Digunakan untuk memodelkan aliran yang melewati media berpori dan tahanan yang terdistribusi, misalnya: packed beds, filter papers, perforated plates, flow distributors, tube banks.

2. Processor (solver)

Pada tahap ini dilakukan proses penghitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif. Artinya penghitungan dilakukan hingga hasil menuju error terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Secara umum metode numeric solver tersebut terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut:

- Ø Prediksi variabel aliran yang tidak diketahui dengan menggunakan fungsi sederhana
- Ø Diskretisasi dengan substitusi prediksi-prediksi tersebut menjadi persamaan-persamaan aliran utama yang berlaku dan kemudian melakukan manipulasi matematis
- Ø Penyelesaian persamaan aljabar. Pada proses *solver*, terdapat 3 persamaan atur aliran fluida yang menyatakan hukum kekekalan fisika, yaitu : 1) massa fluida kekal; 2) laju perubahan momentum sama dengan resultansi gaya pada partikel fluida (Hukum II Newton); 3) laju perubahan energi sama dengan resultansi laju panas yang ditambahkan dan laju kerja yang diberikan pada partikel fluida (Hukum I Termodinamika).

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.

Adapun beberapa keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan Computational Fluid Dynamic antara lain: (Muh. Zainal Abidin, 2012)

- Ø Meminimumkan waktu dan biaya dalam mendesain suatu produk, bila proses desain tersebut dilakukan dengan uji eksperimen dengan akurasi tinggi.
- Ø Memiliki kemampuan sistem studi yang dapat mengendalikan percobaan yang sulit atau tidak mungkin dilakukan dalam eksperimen.
- Ø Memiliki kemampuan untuk studi di bawah kondisi berbahaya pada saat atau sesudah melewati titik kritis (termasuk studi keselamatan dan skenario kecelakaan). Keakuratannya akan selalu dikontrol dalam proses desain.

Pada umumnya proses perhitungan untuk aliran fluida diselesaikan dengan menggunakan persamaan energi, momentum dan kontinuitas. Persamaan yang digunakan adalah persamaan Navier-Stokes, persamaan ini ditemukan oleh G.G.

Stokes di Inggris dan M. Navier di Perancis sekitar tahun awal tahun 1800. Adapun persamaan-persamaannya menurut Versteeg (1995) adalah sebagai berikut:

Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

Persamaan Momentum

Momentum ke arah sumbu x

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

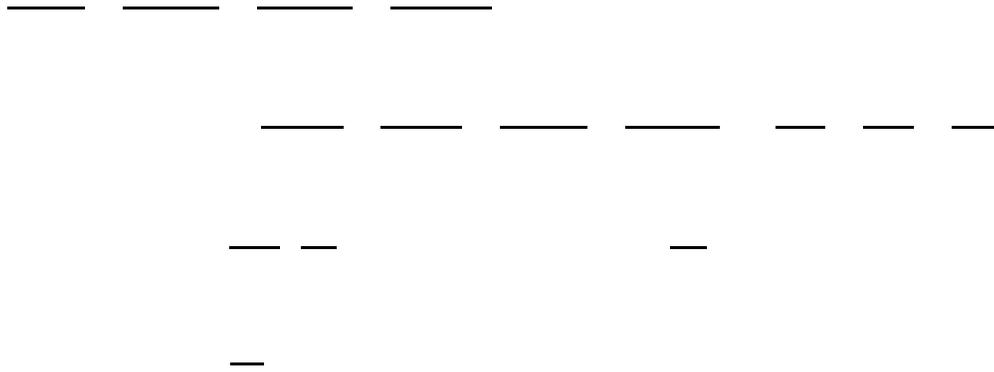
Momentum ke arah sumbu y

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right)$$

Momentum ke arah sumbu z

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right)$$

Persamaan Energi



Dimana:

x = Koordinat Sumbu X

y = Koordinat Sumbu Y

z = Koordinat Sumbu Z

u = Komponen Kecepatan U

v = Komponen Kecepatan V

w = Komponen Kecepatan W

t = Waktu

ρ = Densitas

E_t = Energi Total

p = Tekanan

q = Heat Flux

Re = Bilangan Reynold

Pr = Bilangan Prandtl