

SKRIPSI

**ANALISA PENGARUH VARIASI DIMENSI PENAMPANG
OUTLET DUCTING PADA KAMAR MESIN KAPAL RO-RO
DENGAN PENDEKATAN CFD**

Disusun dan diajukan oleh :

ARYO FERDY

D091181012



DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2023

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Aryo Ferdy
NIM : D091181012
Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

ANALISA PENGARUH VARIASI DIMENSI PENAMPANG OUTLET DUCTING PADA KAMAR MESIN KAPAL RO-RO DENGAN PENDEKATAN CFD

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.

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, 20 November 2023

Yang Menyatakan


Aryo Ferdy

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas ridanya penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini. Adapun judul tugas akhir yang penulis ajukan adalah “ Analisa Pengaruh Variasi Dimensi Penampang Outlet Ducting pada Kamar Mesin Kapal Ro-Ro dengan Pendekatan CFD”.

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah skripsi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Selesainya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu , melalui ini penulis memberikan ucapan terima kasih kepada :

1. Ayahanda Ferdy Saleh dan ibunda Hamsina serta keluarga yang senantiasa memberikan dukungan , doa, dan motivasi selama keberlangsungan kuliah di Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
2. Bapak Prof.Dr.Eng.Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T.,M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Dr.Eng. Faisal Mahmudin S.T.,M.Inf.Tech.,M.Eng selaku ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Baharuddin, S.T.,M.T. selaku pembimbing utama dan Bapak Surya Hariyanto S.T.,M.T. selaku Pembimbing pendamping yang telah meluangkan banyak waktu untuk memberikan pengarahan, bimbingan dan motivasi dari awal penelitian hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
5. Bapak Andi Husni Sitepu, S.T.,M.T., dan Ibu Ir. Syerly Klara, M.T., selaku dosen penguji yang juga banyak memberikan saran dalam proses penyusunan tugas akhir ini.
6. Dosen-dosen Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu, motivasi serta bimbingannya selama proses perkuliahan.
7. Staff tata usaha Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membantu segala aktivitas administrasi baik selama perkuliahan serta dalam penyelesaian tugas akhir ini.

8. Widya, Lenny, Viank, Ferly, dan Dheni selaku saudara/saudari kandung yang senantiasa memberi dukungan kepada penulis baik dalam hal biaya maupun motivasi dalam menyelesaikan proses perkuliahan.
9. Husnul Khatima yang senantiasa memberikan doa, dukungan, dan bantuan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Saudara Yisrel Loyis sialla yang telah memberi bantuan kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir mulai dari pengambilan data hingga selesai.
11. Saudara Frank Sarianding, Yulpriadi Arpad Kombong, dan Budi Satria Tunggal yang telah meminjamkan laptop kepada penulis untuk pengerjaan tugas akhir hingga selesai.
12. Saudara-saudara Teknik 2018, khususnya THRUZTER 2018 dan ZIZTER 2018 yang telah memberikan banyak motivasi, dukungan serta waktu yang telah dilalui Bersama.
13. Kanda-kanda dan adik-adik yang telah memacu penulis sampai akhir dalam menyelesaikan masa perkuliahan ini.
14. Pihak-pihak yang tidak sempat penulis sebutkan pada kesempatan ini.

Penulis menyadari bahwa penyelesaian tugas akhir ini terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritik dan saran sebagai bahan untuk memenuhi kekurangan dari penulisan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan khususnya penulis.

Gowa, November 2023

Penulis

ABSTRAK

ARYO FERDY. *ANALISA PENGARUH VARIASI DIMENSI PENAMPANG OUTLET DUCTING PADA KAMAR MESIN KAPAL RO-RO DENGAN PENDEKATAN CFD (dibimbing oleh Baharuddin, dan Surya Haryanto)*

Kamar mesin merupakan salah satu kompartemen penting pada kapal laut karena di dalamnya terdapat sejumlah komponen vital yang memiliki fungsi untuk menggerakkan kapal. Di dalam kamar mesin hampir seluruhnya terisolasi dari udara luar sehingga pada saat kapal beroperasi, suhu ruangan di dalam kamar mesin menjadi meningkat karena setiap komponen bersifat membebaskan panas yang kemudian dapat mengganggu kinerja baik peralatan itu sendiri maupun aktifitas crew. Maka dari itu dibutuhkan Sistem ducting yang merupakan suatu sistem yang bertugas untuk mengkondisikan udara dan juga berfungsi untuk menjaga suhu pada kamar mesin dimana merujuk pada BKI rules volume 3 tentang permesinan dimana suhu udara dikamar mesin tidak boleh melebihi 45°C , dalam hal ini kamar mesin yang akan dijadikan objek penelitian yaitu kamar mesin pada KMP Takabonerate. Untuk mengetahui optimal atau tidaknya sistem ducting yang telah terpasang pada kamar mesin maka perlu dilakukan analisa yang dalam penelitian ini menggunakan metode CFD (Computational Fluid Dynamics) agar distribusi suhu dapat diketahui secara visual. Penelitian ini berfokus pada variasi dimensi outlet ducting yang terbagi menjadi 3 model yaitu model 1 (model ducing semula/tidak mengalami perubahan), model 2 dengan bukaan ujung outlet 15° , dan model 3 dengan bukaan ujung outlet 30° . Dari hasil simulasi diketahui distribusi suhu pada model 1 memiliki suhu rata-rata berada dikisaran $44,6^{\circ}\text{C}$, sedangkan pada model 2 suhu rata-rata kamar mesin berada di kisaran 43°C , serta pada model 3 suhu rata-rata kamar mesin berada dikisaran $42,4^{\circ}\text{C}$. Sehingga model outlet ducting yang optimal adalah model outlet 3.

Kata kunci ; kapal *ferry ro-ro*, kamar mesin, suhu, *ducting*, *computational fluids dynamic (CFD)*, beban panas.

ABSTRACT

ARYO FERDY. ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF VARIATIONS IN OUTLET DUCTING DIMENSIONS IN RO-RO SHIP ENGINE ROOMS USING A CFD APPROACH (supervised by Baharuddin, and Surya Haryanto)

The engine room is one of the most important compartments on a ship because it contains a number of vital components that function to move the ship. The engine room is almost completely protected from outside air, so when the ship is in operation, the room temperature in the engine room increases because each component releases heat, which can then disrupt the performance of both the equipment itself and the activities of the ship's crew. Therefore, a ducting system is needed, which is a system whose job it is to condition the air and also function to maintain the temperature in the engine room. Referring to BKI regulations volume 3 regarding machinery, the air temperature in the engine room must not exceed 45 °C, in this case the engine room. The research object that will be used is the engine room at KMP Takabonerate. To find out whether the ducting system that has been installed in the engine room is optimal or not, it is necessary to carry out an analysis, which in this research uses the CFD (computational fluid dynamics) method so that the temperature distribution can be known visually. This research focuses on variations in outlet dimensions, which are divided into 3 models: model 1 (original ducting model/no changes), model 2 with an outlet end opening of 15°, and model 3 with an outlet end opening of 30°. From the simulation results, it is known that the temperature distribution in model 1 has an average temperature of around 44.6°C, while in model 2 the average temperature of the engine room is in the range of 43°C, and in model 3 the average temperature of the engine room is around 42.4°C. So the optimal outlet ducting model is outlet model 3.

Keywords: ro-ro ferries, engine rooms, temperature, ducting, computational fluid dynamics (CFD), heat loads.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II LANDASAN TEORI	6
2.1 Kapal Ferry Ro-Ro	6
2.2 Kamar Mesin Kapal.....	7
2.3 Pengkondisian Udara di Kamar Mesin.....	8
2.3.1 Pengaturan Sistem Ventilasi di Kamar Mesin	9
2.3.2 Jenis <i>System Supply Ducting</i>	9
2.3.3 <i>Standart/Rules</i> Ventilasi Udara di Kamar Mesin	13
2.4 Perhitungan Beban Kalor	14
2.4.1 Beban kalor internal.....	14
2.4.2 Beban kalor eksternal	16
2.5 <i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i>	17
2.5.1 <i>Pre-processor (CFX build)</i>	18
2.5.2 <i>Solver</i>	18
2.5.3 <i>Post-processor</i>	19
2.5.4 Proses Validasi.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	21
3.1.1 Lokasi penelitian.....	21
3.1.2 Waktu pengambilan data penelitian.....	21
3.2 Metode Penelitian.....	21
3.3 Data Penelitian	23
3.3.1 Ukuran utama kapal.....	23
3.3.2 Dimensi kamar mesin	24
3.3.3 Dimensi <i>supply</i> udara (<i>ducting</i>).....	25
3.3.4 Dimensi komponen dan peralatan pada kamar mesin	27
3.3.5 Spesifikasi main engine kapal	28
3.3.6 Spesifikasi auxiliary engine kapal	28
3.3.7 Spesifikasi peralatan-peralatan pada kamar mesin.....	29

3.3.8	Spesifikasi blower.....	29
3.4	Kerangka Alur Penelitian	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		33
4.1	Perhitungan Beban Panas	33
4.1.1	Perhitungan beban panas <i>main engine</i>	33
4.1.2	Perhitungan beban panas <i>auxiliary engine</i>	33
4.1.3	Perhitungan beban panas peralatan kamar mesin	34
4.1.4	Perhitungan beban panas pekerja (ABK)	35
4.1.5	Perhitungan beban transmisi.....	36
4.1.6	Beban panas total kamar mesin.	46
4.2	Simulasi Model Ducting dan Kamar Mesin dengan <i>ANSYS CFD</i>	47
4.2.1	<i>Pre-processor</i>	48
4.2.2	<i>Solver control</i>	57
4.2.3	<i>Post-processor</i>	57
4.3	Validasi hasil simulasi.....	68
4.3.1	Perhitungan konsistensi laju aliran massa	68
4.3.2	Perhitungan kapasitas beban panas total sistem ducting	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		72
5.1	Kesimpulan.....	72
5.2	Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA		73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Konstruksi kamar mesin.....	7
Gambar 2.2	Trunk and branch system	10
Gambar 2.3	Spider system	11
Gambar 2.4	Radial system	12
Gambar 2.5	Perimeter loop system	12
Gambar 3.1	Geometri kamar mesin tampak atas	24
Gambar 3.2	Geometri kamar mesin tampak depan	24
Gambar 3.3	Geometri kamar mesin tampak samping	25
Gambar 3.4	Geometri ducting tampak atas	26
Gambar 3.5	Geometri ducting tampak depan.....	26
Gambar 3.6	Geometri ducting tampak samping.....	26
Gambar 3.7	Posisi komponen dan peralatan pada kamar mesin	27
Gambar 3.8	Posisi blower pada tampak samping kamar mesin	30
Gambar 4.1	Tabel beban panas manusia berdasarkan jenis aktifitas	35
Gambar 4.2	Posisi langit-langit kamar mesin	37
Gambar 4.3	Posisi dinding kiri dan kanan kamar mesin.....	39
Gambar 4.4	Posisi dinding depan dan belakang kamar mesin	42
Gambar 4.5	Posisi lantai kamar mesin	44
Gambar 4.6	Dimensi outlet ducting model 1	48
Gambar 4.7	Dimensi outlet ducting model 2	49
Gambar 4.8	Dimensi outlet ducting model 3	49
Gambar 4.9	Geometry ducting dan kamar mesin.....	50
Gambar 4.10	Geometry outlet ducting model 1	51
Gambar 4.11	Geometry outlet ducting model 2.....	51
Gambar 4.12	Geometry outlet ducting model 3.....	51
Gambar 4.13	Hasil <i>meshing geometry</i> kamar mesin.....	52
Gambar 4.14	Hasil <i>meshing geometry</i> outlet ducting model 1	52
Gambar 4.15	Hasil <i>meshing geometry</i> outlet ducting model 2	53
Gambar 4.16	Hasil <i>meshing geometry</i> outlet ducting model 3	53
Gambar 4.17	Hasil <i>setup cfx</i> pada model kamar mesin dan ducting.....	57
Gambar 4.18	Perbedaan temperatur kamar mesin ducting model 1 di ketinggian 0,5 meter	58
Gambar 4.19	Perbedaan temperatur kamar mesin ducting model 1 di ketinggian 1 meter	58
Gambar 4.20	Perbedaan temperatur kamar mesin ducting model 1 di ketinggian 1,5 meter	59
Gambar 4.21	Perbedaan temperatur kamar mesin ducting model 1 di ketinggian 2 meter	59
Gambar 4.22	Perbedaan temperatur pada kamar mesin ducting model 1 pada bidang melintang.....	60
Gambar 4.23	Visualisasi volume temperatur kamar mesin pada ducting model 1	60
Gambar 4.24	Laju aliran udara kamar mesin ducting model 1 pada ketinggian 0,5 meter	62
Gambar 4.25	Laju aliran udara kamar mesin ducting model 1 pada ketinggian 1 meter	63

Gambar 4.26	Laju aliran udara kamar mesin ducting model 1 pada ketinggian 1,5 meter	63
Gambar 4.27	Laju aliran udara kamar mesin ducting model 1 pada ketinggian 2 meter	64
Gambar 4.28	Laju aliran udara kamar mesin ducting model 1 pada bidang melintang	64
Gambar 4.29	Visualisasi distribusi laju aliran udara pada kamar mesin ducting model 1	65
Gambar 4.30	Grafik hubungan antara kecepatan outlet ducting dengan temperatur kamar mesin di semua model.....	67
Gambar 4.31	Grafik hubungan antara distribusi udara dengan temperatur kamar mesin	67
Gambar 4.32	Grafik hubungan perubahan outlet ducting terhadap distribusi aliran udara dengan temperatur kamar mesin.....	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Efisiensi motor listrik	16
Tabel 3.1	Dimensi setiap komponen dan peralatan yang ada pada kamar mesin	28
Tabel 3.2	Peralatan sumber daya listrik di kamar mesin	29
Tabel 4.1	Efisiensi motor listrik	34
Tabel 4.2	Beban panas peralatan	35
Tabel 4.3	Sifat-sifat udara pada tekanan 1 atm untuk temperatur $35^{\circ}\text{C} = 308,15\text{ K}$	36
Tabel 4.4	Total beban transmisi kamar mesin	46
Tabel 4.5	Beban panas total kamar mesin	47
Tabel 4.6	Luas penampang setiap model outlet ducting	50
Tabel 4.7	<i>Boundary condition</i> pada simulasi ducting dan kamar mesin untuk seluruh model	56
Tabel 4.8	Hasil temperatur ruangan pada bidang horizontal kamar mesin seluruh model outlet ducting	61
Tabel 4.9	Hasil temperatur ruangan pada bidang vertikal kamar mesin seluruh model outlet ducting	61
Tabel 4.10	Data laju aliran udara pada bidang horizontal kamar mesin seluruh model ducting	65
Tabel 4.11	Data laju aliran udara pada bidang vertikal kamar mesin seluruh model ducting	66
Tabel 4.12	Data laju aliran udara pada outlet setiap model ducting	66
Tabel 4.13	Laju aliran massa pada inlet ducting	69
Tabel 4.14	Laju aliran massa pada outlet kamar mesin.....	69

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
Q	Laju perpindahan panas (Watt)
U	Koefisien perpindahan panas ($W/m^2\text{°C}$)
ΔT	Selisih antara temperatur udara luar dan dalam (°C)
A	Luas dinding, atap, lantai (m^2)
x	Ketebalan material (m)
k	Konduktifitas termal ($W/m\text{°C}$)
ρ_{ud}	Massa jenis udara (kg/m^3)
η	Efisiensi motor
N	Daya motor (N)
h_{in}	Koefisien konveksi dalam ($W/m^2\text{°C}$)
h_{out}	Koefisien konveksi luar ($W/m^2\text{°C}$)
\dot{m}	Laju aliran massa (kg/s)
v	Kecepatan (m/s)
Pr	Prandell number
μ	Koefisien viskositas ($kg/m.s$)
Nu	Nusselt number

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.1 Perbedaan temperatur kamar mesin model ducting 2 pada ketinggian 0,5 meter	75
Lampiran 1.2 Perbedaan temperatur kamar mesin model ducting 2 pada ketinggian 1 meter	75
Lampiran 1.3 Perbedaan temperatur kamar mesin model ducting 2 pada ketinggian 1,5 meter	76
Lampiran 1.4 Perbedaan temperatur kamar mesin model ducting 2 pada ketinggian 2 meter	76
Lampiran 1.5 Perbedaan temperatur kamar mesin model ducting 2 pada bidang melintang	77
Lampiran 1.6 Visualisasi volume temperatur kamar mesin model ducting 2.	77
Lampiran 1.7 Perbedaan temperatur kamar mesin model ducting 3 pada ketinggian 0,5 meter	78
Lampiran 1.8 Perbedaan temperatur kamar mesin model ducting 3 pada ketinggian 1 meter	78
Lampiran 1.9 Perbedaan temperatur kamar mesin model ducting 3 pada ketinggian 1,5 meter	79
Lampiran 1.10 Perbedaan temperatur kamar mesin model ducting 3 pada ketinggian 2 meter	79
Lampiran 1.11 Perbedaan temperatur kamar mesin model ducting 3 pada bidang melintang	80
Lampiran 1.12 Visualisasi volume temperatur kamar mesin model ducting 3	80
Lampiran 2.1 Laju aliran udara kamar mesin model ducting 2 pada ketinggian 0,5 meter	81
Lampiran 2.2 Laju aliran udara kamar mesin model ducting 2 pada ketinggian 1 meter	81
Lampiran 2.3 Laju aliran udara kamar mesin model ducting 2 pada ketinggian 1,5 meter	82
Lampiran 2.4 Laju aliran udara kamar mesin model ducting 2 pada ketinggian 2 meter	82
Lampiran 2.5 Laju aliran udara kamar mesin model ducting 2 pada bidang melintang	83
Lampiran 2.6 Visualisasi distribusi laju aliran udara kamar mesin model ducting 2	83
Lampiran 2.7 Laju aliran udara kamar mesin model ducting 3 pada ketinggian 0,5 meter	84
Lampiran 2.8 Laju aliran udara kamar mesin model ducting 3 pada ketinggian 1 meter	84
Lampiran 2.9 Laju aliran udara kamar mesin model ducting 3 pada ketinggian 1,5 meter	85
Lampiran 2.10 Laju aliran udara kamar mesin model ducting 3 pada ketinggian 2 meter	85
Lampiran 2.11 Laju aliran udara kamar mesin model ducting 3 pada bidang melintang	86

Lampiran 2.12 Visualisasi distribusi laju aliran udara pada kamar mesin model ducting 3	86
Lampiran 3.1 Hasil <i>solver control</i> model outlet 1	87
Lampiran 3.2 Hasil <i>solver control</i> model outlet 2	87
Lampiran 3.3 Hasil <i>solver control</i> model outlet 3	88
Lampiran 4.1 heat flux pekerja berdasarkan jenis aktifitas (<i>sumber : ANSI/ASHRAE Standard 55: 2017</i>)	89
Lampiran 4.2 Sifat-sifat udara pada tekanan atmosfer (<i>sumber : Natl Bur Stand Hal. 564</i>).....	90
Lampiran 4.3 Gambar dimensi pompa transfer bahan bakar	90
Lampiran 4.4 Gambar dimensi pompa bilga (minyak kotor)	91
Lampiran 4.5 Gambar dimensi pompa sewage.....	91
Lampiran 4.6 Gambar dimensi pompa hydrophore air tawar	92
Lampiran 4.7 Gambar dimensi pompa ballast	92
Lampiran 4.8 Gambar dimensi pompa bilga.....	93
Lampiran 4.9 Gambar dimensi pompa water deluge	93
Lampiran 4.10 Gambar dimensi pompa dinas umum dan kebakaran.....	94
Lampiran 4.11 Gambar dimensi pompa hydrophore air laut	94
Lampiran 4.12 Layout kamar mesin	95
Lampiran 4.13 Brosur spesifikasi mesin induk.....	96
Lampiran 4.14 Brosur spesifikasi generator	96

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapal Penyeberangan Penumpang KMP. TAKABONERATE 500 GT merupakan kapal baru yang sedang dalam proses pembangunan pada galangan kapal PT. Industri Kapal Indonesia (Persero), Makassar. Kapal *roll-on/roll-off* atau disingkat Ro-Ro merupakan salah satu jenis kapal yang sangat populer di banyak negara, termasuk Indonesia. Kemampuan untuk berintegrasi dengan sistem transportasi lain dan waktu bongkar muat yang cepat, membuat Ro-Ro menjadi pilihan utama untuk pelayaran jangka pendek. Kapal Ro-Ro mampu memuat penumpang sekaligus kendaraan, dimana kendaraan memasuki (*Roll-on*) dan keluar (*Roll-off*) kapal dengan penggerakannya sendiri, yang sering disebut *Rolling Cargo*. Dari aspek operasional, metode bongkar muat ini lah yang menjadi ciri khas kapal Ro-Ro. Agar dapat beroperasi dengan lancar, maka setiap bagian dari kapal harus dalam keadaan baik salah satunya pada ruangan kamar mesin.

Kamar mesin merupakan salah satu kompartemen penting pada kapal laut karena di dalamnya terdapat komponen-komponen vital yang memiliki fitur dan fungsi yang berbeda-beda untuk menggerakkan dan membawa kemampuan operasional kapal. Komponen vital tersebut adalah mesin penggerak kapal dan beberapa sumber tenaga untuk membangkitkan tenaga listrik yang berupa generator listrik kapal, pompa-pompa, dan bermacam-macam peralatan kerja yang menunjang pengoperasian kapal (C. Tasdemir dan S. Bayraktar, 2016). Di dalam kamar mesin hampir seluruhnya terisolasi dari udara luar sehingga pada saat mesin dan peralatan tersebut beroperasi, temperatur ruangan di dalam kamar mesin menjadi meningkat atau semakin panas karena setiap permesinan dan peralatan bersifat membebaskan panas atau membuang panas yang kemudian dapat mengganggu kinerja baik peralatan itu sendiri maupun aktifitas ABK yang bekerja di dalam kamar mesin. Agar permasalahan tersebut dapat diatasi maka diperlukan suatu sistem ventilasi dan *supply* aliran udara untuk membuang udara yang panas

dan mengambil udara dari luar untuk terus disirkulasikan kembali dalam kamar mesin.

Menurut Biro Klasifikasi Indonesia (2001:volume 8) tentang “*Rules For The Classification and Construction of Seagoing Steel Ships For Refrigerating Instalation*”. Kondisi yang dipersyaratkan pada temperatur kamar mesin yang berisi mesin penggerak, peralatan dan alat-alat bantu lainnya dan dioperasikan pada kondisi kerja di daerah tropis yaitu suhu maksimum untuk kamar mesin kapal yang sedang beroperasi adalah 45°C atau lebih dari 5°C dari temperatur udara luar, suhu maksimum air laut 32°C , kelembapan udara 50%, dan tekanan barometer 76 cm Hg. Sedangkan berdasarkan ketentuan IACS (*International Association of Classification Societies*) 1978: rule-M28 kondisi acuan yang berlaku untuk kamar mesin kapal yaitu temperatur udara di bawah 45°C , kelembapan udara 60%, serta temperatur air laut 32°C .

Sistem ventilasi yang digunakan pada kamar mesin kapal untuk mensuplai udara yaitu sistem ventilasi mekanikal (*mechanical ventilation system*) dimana terdapat blower dan saluran udara (*ducting*) serta lubang *exhaust funnel*. Saluran udara (*ducting*) yang ada pada kamar mesin akan selalu bekerja bersamaan saat udara dari luar masuk untuk mensuplai kebutuhan udara dalam kamar mesin dan untuk membuang udara panas dari dalam kamar mesin adalah dengan cara dihisap keluar kamar mesin melalui saluran *exhaust* atau pada kondisi tertentu udara keluar mengalir secara natural melalui lubang ventilasi (P. Puspitasari, 2011).

Untuk mengetahui optimal atau tidaknya sistem ventilasi udara mekanikal yang diterapkan pada kapal Ro-Ro, maka besar nilai distribusi suhu, tekanan, dan kecepatan aliran udara pada kamar mesin perlu diketahui. Nilai distribusi suhu, tekanan dan kecepatan aliran udara pada perencanaan kamar mesin kapal bisa diketahui dengan simulasi menggunakan *computational fluid dynamics* (P. Puspitasari, 2011). Selain itu, bentuk atau dimensi penampang pada *output supply* aliran udara juga perlu diketahui agar udara yang disuplai ke dalam kamar mesin menjadi lebih optimal hal ini dikarenakan aliran udara yang didistribusikan dapat tersebar merata sehingga udara di dalam kamar mesin dapat bersirkulasi dengan baik dan temperatur kamar mesin dapat sesuai dengan standar yang telah ditetapkan

Penampang output supply udara pada kamar mesin memiliki bentuk yang berbeda-beda disetiap kapal. Aspek aerodinamis perlu diterapkan pada ujung ducting agar arah aliran udara yang disuplai ke dalam kamar mesin dapat menyebar dengan baik. Maka dari itu, diperlukan sebuah metode simulasi numerik yaitu CFD (*Computational Fluid Dynamics*) yang berfungsi untuk mengetahui arah aliran suatu fluida sehingga bentuk penampang pada ujung ducting dapat dioptimalkan dengan baik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya maka dapat ditarik perumusan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Berapa besar beban kalor total yang dihasilkan pada kamar mesin KMP Takabonerate?
2. Bagaimana pengaruh variasi dimensi luas penampang outlet ducting terhadap suhu kamar mesin KMP Takabonerate?
3. Bagaimana bentuk penampang outlet ducting yang optimal dalam penyebaran udara di kamar mesin KMP Takabonerate?

1.3 Batasan Masalah

Sebagai arahan serta acuan dalam penulisan tugas akhir, maka penulis memberikan batasan masalah agar permasalahan yang dibahas tidak terlalu melebar. Batasan masalah yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Penelitian ini dilakukan pada kapal berjenis Ro-Ro
2. Penelitian ini tidak melakukan tinjauan ekonomi/biaya.
3. Metode yang digunakan adalah CFD (*Computational Fluid Dynamics*).
4. Penelitian ini berfokus pada variasi dimensi *output* penampang sistem *ducting* (dimensi utama *ducting* dan kapasitas blowernya tetap).
5. Pada penelitian ini semua komponen dan peralatan-peralatan yang menghasilkan panas dalam keadaan bekerja bersamaan.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui beban kalor total yang terdapat pada kamar mesin KMP TAKABONERATE.
2. Mengetahui pengaruh variasi dimensi luas penampang outlet ducting terhadap suhu kamar mesin.
3. Mengetahui bentuk penampang outlet ducting yang lebih optimal dalam penyebaran udara kamar mesin.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah mahasiswa dapat menerapkan mata kuliah pengkondisian udara dalam dunia perkapalan. Selain itu manfaat penelitian ini sebagai bahan pertimbangan khususnya pihak owner kapal agar dapat meninjau kembali sistem pengkondisian udara pada kamar mesin kapal, sehingga dapat mengubah suasana kamar mesin menjadi lebih nyaman dan sesuai dengan aturan yang berlaku.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah dalam memahami penulisan skripsi ini, disusun secara singkat sistematika penulisan laporan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pendahuluan Bab ini menjelaskan latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan masalah, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Landasan teori Bab ini menjelaskan teori-teori yang mendukung dalam proses analisa dan penyelesaian masalah pada penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Data dan Metode Penelitian Bab ini menjelaskan jenis penelitian, lokasi dan waktu penelitian, perolehan data, penyajian data dan tahapan-tahapan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan Bab ini menjelaskan hasil yang diperoleh dari pengolahan data dan Analisa.

BAB V PENUTUP

Penutup Bab ini berisi kesimpulan, saran, daftar pustaka serta lampiran pendukung.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Kapal Ferry Ro-Ro

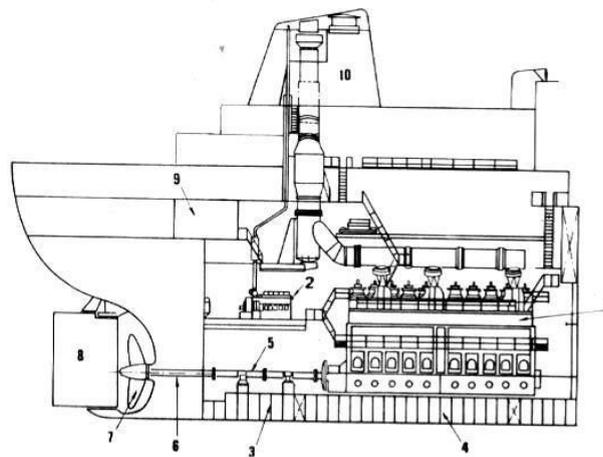
Kapal Ro-Ro (*Roll On – Roll Off*) merupakan tipe kapal penyebrangan yang dapat digunakan untuk mengangkut penumpang sekaligus kendaraan. Kapal Ro-Ro mempunyai pintu rampa yang bekerja membuka dan menutup secara mekanis berfungsi untuk memuat kendaraan yang dihubungkan langsung ke dermaga. Pintu rampa pada Kapal Ro-Ro biasanya dibuat pada buritan, haluan, atau sisi kapal dilengkapi dengan *system lashing* untuk mencegah muatan kargo (kendaraan) bergeser saat berlayar pada cuaca yang buruk. Kendaraan di kapal dimuat dan dibongkar melalui pintu rampa. Gambaran yang lazim tentang Kapal Ro-Ro adalah hampir selalu memiliki landasan yang besar di buritan, sering juga memiliki empat buah landasan, landasan tersebut ditempatkan hanya pada salah satu sisinya. Saat ini banyak Kapal Ro-Ro yang beroperasi di berbagai lintasan penyebrangan Indonesia.

Kapal Ro-Ro tercatat pertama kali diaplikasikan di Scotlandia pada tahun 1850 - an. Pada operasionalnya pada tahun 2009 *Ferry Ro-Ro* telah mengangkut 2 miliar orang dan 250 juta unit kendaraan dengan berbagai macam tipe di seluruh dunia. Sedangkan di Indonesia secara operasionalnya dikelola oleh PT. ASDP, per tahun 2017 sudah memiliki 146 unit kapal ferry di seluruh Indonesia.

Di Indonesia kapal Ro Ro memiliki sejarah yang berkaitan dengan dibangunnya pelabuhan merak pada tahun 1912 sebagai penunjang Hindia Belanda dalam kegiatan ekspor dari Indonesia keluar negeri. Hingga pada tahun 2014 Indonesia telah memiliki 225 rute penyebrangan, yang terbagi menjadi 44 rute komersil, dan 181 ruet perintis, di mana 118 unit dikelola oleh PT. ASDP, 170 unit dikelola oleh swasta, dan 18 unit oleh BUMD, dengan jumlah pelabuhan penyebrangan 156 unit, terbagi menjadi 117 dikelola Pemda, 35 unit dikelola PT. ASDP, dan 4 unit dikelola UPT- Kemenhub (Jurnal Maritim, 2018)

2.2 Kamar Mesin Kapal

Kamar mesin adalah kompartemen yang sangat penting pada sebuah kapal. Di tempat inilah terdapat mesin penggerak kapal yang biasanya dinamakan mesin induk atau mesin utama. Di kamar mesin pula terletak sumber tenaga untuk membangkitkan listrik yang berupa generator listrik kapal, pompa-pompa, dan bermacam-macam peralatan kerja yang menunjang pengoperasian kapal (F. M. Hasan, 2020)



Gambar 2.1 Konstruksi kamar mesin

Adapun bagian – bagian dari kamar mesin sebagai berikut :

- a. Ruang kontrol mesin (*engine control room*), salah satu ruangan di dalam kamar mesin yang mana semua alat-alat kontrol mesin-mesin yang beroperasi dipasang, termasuk sistem kontrol energi listrik, agar pengawasan terhadap mesin-mesin lebih efektif dan efisien.
- b. Mesin induk kapal (*Main Engine*), suatu instalasi mesin yang terdiri dari berbagai unit/sistem pendukung dan berfungsi untuk menghasilkan daya dorong terhadap kapal, sehingga kapal dapat berjalan maju atau mundur.
- c. Mesin bantu kapal (*Auxiliary Engine*), unit-unit dan instalasi-instalasi permesinan yang dibutuhkan untuk membantu pengoperasian kapal, termasuk untuk mesin induk, operasi muatan, pengemudian, navigasi dll., termasuk, tetapi tidak terbatas pada mesin-mesin dibawah ini.
- d. Mesin generator, suatu instalasi mesin / unit penggerak generator atau pembangkit tenaga listrik, merupakan salah satu mesin bantu yang paling

- e. penting dikapal untuk menghasilkan tenaga / energi listrik. Jenis mesin ini biasanya mesin Diesel, kecuali dikapal yang menggunakan uap sebagai energi panasnya, mesin ini digerakkan dengan turbin uap.
- f. Generator, bagian yang menjadi satu dengan mesin generator yang mampu membangkitkan energi atau arus listrik yang dibutuhkan untuk operasi kapal seperti menjalankan motor-motor listrik untuk mesin kemudi, pompa, kompresor udara, dll., serta untuk penerangan, pemanas, dll.
- g. Pompa – pompa, alat untuk memindahkan zat cair seperti air tawar, air laut, bahan bakar dan lain-lain, yang biasanya dilengkapi dengan sistem perpipaan, termasuk katup isap, katup tekan dan katup-katup lain, saringan, tangkitangki, alat-alat pengaman dll. Berikut jenis jenis pompa yaitu : Pompa pendingin air tawar (*fresh water cooling pump*), Pompa pendingin air laut (*sea water cooling pump*), Pompa ballast (*ballast pump*), Pompa servis umum (*general service pump*), Pompa minyak lumas (*lube oil pump*), Pompa sanitair (*sanitary pump*), Pompa bahan bakar (*fuel oil pump*), Pompa got (*bilge pump*).

2.3 Pengkondisian Udara di Kamar Mesin

Di dalam kamar mesin terdapat mesin dan peralatan seperti mesin penggerak kapal atau dinamakan mesin utama, peralatan sebagai sumber tenaga untuk membangkitkan listrik berupa generator listrik kapal, pompa-pompa, dan bermacam-macam peralatan lainnya yang menunjang pengoperasian kapal. Ketika mesin dan peralatan tersebut beroperasi, maka kondisi ruangan kamar ini menjadi panas. Untuk mengatasi panas tersebut maka diperlukan sistem ventilasi yang berfungsi untuk menyuplai udara segar ke dalam kamar mesin dan juga untuk mensirkulasikan udara. panas yang dikeluarkan oleh mesin dan peralatan ke luar kamar mesin, sehingga suhu dikamar mesin tidak melebihi 45°C atau lebih dari 5°C dari suhu udara luar.

Jenis sistem ventilasi udara yang digunakan di dalam kamar mesin kapal yaitu sistem ventilasi udara mekanikal (*mechanical ventilation system*) atau yang dikenal dengan nama *engine room blower/exhaust fan* dimana sirkulasi udara

diatur melalui saluran udara (*ducting*) yang terbuat dari pelat baja yang memiliki lubang-lubang pengarah sesuai dengan kebutuhan. Saluran udara untuk kamar mesin ini selalu bekerja bersamaan saat udara dari luar masuk untuk mensuplai kebutuhan udara dalam kamar mesin dan udara panas dari dalam kamar mesin akan di buang melalui lubang ventilasi (*exhaust funnel*).

2.3.1 Pengaturan Sistem Ventilasi di Kamar Mesin

Pengaturan dalam sistem ventilating *duct* meliputi penentuan jumlah blower dan juga kapasitas dari blower tersebut. Udara dari blower ini kemudian didistribusikan ke kamar mesin dengan *ducting*. Ujung-ujung *ducting* harus diatur penempatannya sehingga udara luar dapat mencapai semua bagian kamar mesin dan tidak ada udara yang tidak bersirkulasi.

2.3.2 Jenis System Supply Ducting

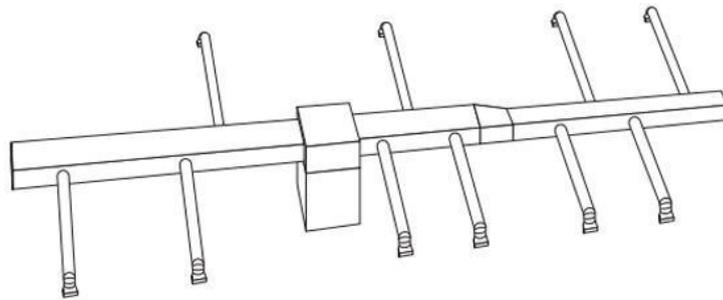
Supply Duct mengalirkan udara ke ruang yang akan dikondisikan. Dua sistem saluran suplai yang paling umum untuk diterapkan adalah *Trunk and Branch System* serta *radial system* karena keserbagunaan, kinerja, dan ekonominya. Sistem loop laba-laba dan perimeter adalah pilihan lain (*Department of Energy, 2003*). Berikut adalah jenis-jenis sistem suplai *ducting* :

1. *Trunk and Branch System*

Dalam sistem *trunk* dan *branch*, sebuah trunk suplai utama yang besar terhubung langsung ke pengendali udara atau plenum suplainya dan berfungsi sebagai pleno suplai atau perpanjangan dari pleno suplai. Saluran cabang dan runout yang lebih kecil terhubung ke Trunk. Sistem batang dan cabang dapat disesuaikan dengan sebagian besar ruangan, tetapi memiliki lebih banyak tempat di mana kebocoran dapat terjadi. Ini memberikan aliran udara yang mudah seimbang dan dapat dengan mudah dirancang untuk ditempatkan di dalam ruangan yang akan dikondisikan.

Ada beberapa variasi dari *Trunk and Branch System*. Sistem pleno diperpanjang menggunakan batang pasokan utama yang satu ukuran dan merupakan desain paling sederhana dan paling populer. Panjang Trunk

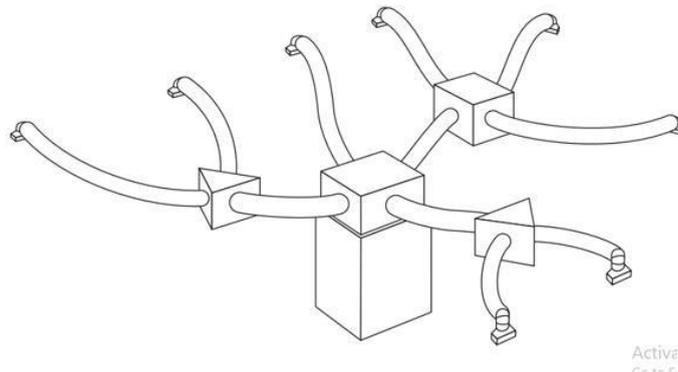
biasanya dibatasi sekitar 24 kaki karena jika tidak, kecepatan udara di Trunk menjadi terlalu rendah dan aliran udara ke cabang dan runout yang dekat dengan pengendali udara menjadi buruk. Oleh karena itu, dengan penangan udara yang terletak di pusat, sistem saluran ini dapat dipasang di ruangan hingga panjang sekitar 50 kaki. Sistem pleno pereduksi menggunakan reduksi Trunk secara berkala untuk mempertahankan tekanan dan kecepatan udara yang lebih seragam di Trunk, yang meningkatkan aliran udara di cabang dan runout lebih dekat ke pengendali udara. Demikian pula, sistem batang pereduksi mengurangi luas penampang batang setelah setiap saluran cabang atau runout, tetapi ini adalah sistem yang paling kompleks untuk dirancang.



Gambar 2.2 Trunk and branch system

2. *Spider System*

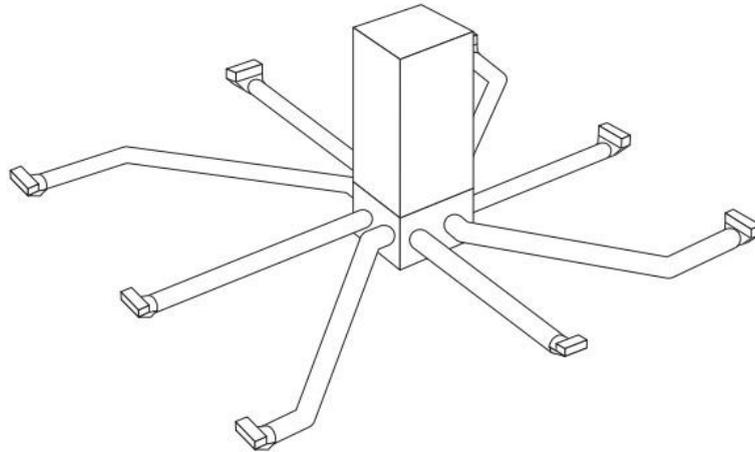
Sistem laba-laba adalah variasi yang lebih berbeda dari sistem batang dan cabang. Batang pasokan besar (biasanya saluran fleksibel berdiameter besar) menghubungkan kotak pencampuran jarak jauh ke pleno pasokan pusat yang kecil. Saluran cabang atau runout yang lebih kecil mengambil udara dari kotak pencampuran jarak jauh ke outlet pasokan individu. Sistem ini sulit ditemukan di dalam ruangan yang dikondisikan.



Gambar 2.3 Spider system

3. *Radial System*

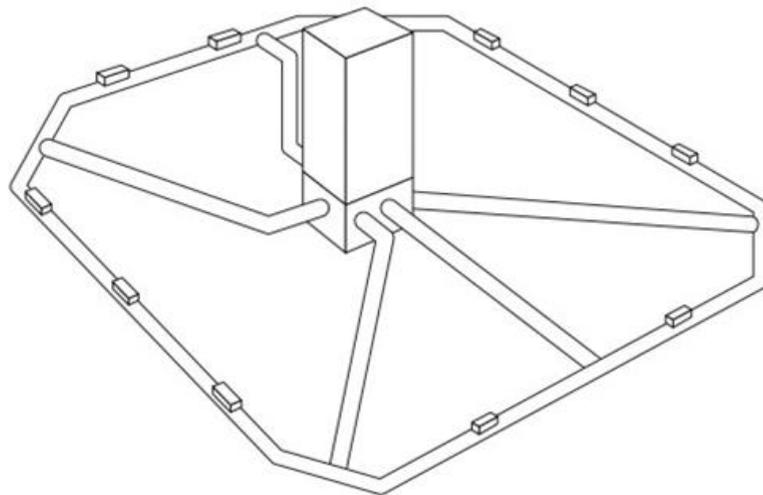
Dalam sistem radial, tidak ada batang suplai utama; saluran cabang atau runout yang mengalirkan udara terkondisi ke outlet suplai individu pada dasarnya terhubung langsung ke penanganan udara, biasanya menggunakan pleno suplai kecil. Saluran pendek langsung berjalan memaksimalkan aliran udara. Sistem radial paling mudah beradaptasi dengan ruangan satu lantai. Secara tradisional, sistem ini dikaitkan dengan penanganan udara yang terletak di tengah sehingga saluran diatur dalam pola radial. Namun, simetri tidak wajib, dan desain yang menggunakan runout paralel dapat dirancang agar saluran saluran tetap berada di ruang yang dikondisikan (misalnya, dipasang di atas langit-langit yang dijatuhkan)



Gambar 2.4 Radial system

4. *Perimeter Loop System*

Sistem loop perimeter menggunakan saluran perimeter yang dipasang dari pleno pasokan pusat menggunakan beberapa saluran pengumpan. Sistem ini biasanya terbatas pada ruangan yang dibangun di atas pelat di iklim dingin dan lebih sulit untuk dirancang dan dipasang.



Gambar 2.5 Perimeter loop system

2.3.3 *Standart/Rules Ventilasi Udara di Kamar Mesin*

Menurut Biro Klasifikasi Indonesia (2013: volume 8) tentang “*Rules For The Classification And Construction Of Seagoing Steel Ships For Refrigerating Instalation*”. Kondisi yang dipersyaratkan pada kamar mesin yang berisi mesin, peralatan dan alat-alat bantu lainnya dan dioperasikan pada kondisi kerja di daerah tropis , yaitu sebagai berikut :

- Suhu maksimum kamar mesin : 45°C atau lebih dari 5°C dari temperatur udara luar
- Suhu maksimum air laut : 32°C
- Kelembaban relatif : 50%
- Tekanan barometer : 76 cm Hg

Berdasarkan ISO 8861:1998 tentang “*Ship building, Engine-Room Ventilation In Diesel, Engined Ships, Design Requirements And Basis Of Calculations*” kondisi design kamar mesin yaitu suhu lingkungan udara luar dapat diambil untuk kamar mesin sekitar +35°C. RH 70 % dan tekanan 101,3 kPa. Kenaikan suhu dari udara masukan ke udara yang di tuju dari ruang mesin sampai selubung masuk diambil sekitar +12,5 K (peningkatan suhu udara di ruang mesin yaitu perbedaan antara inlet dan outlet suhu diukur pada kondisi desain). Dalam kondisi normal, dimana pada saat mesin dan peralatan di ruang mesin dinyalakan, suhu ruang mesin mencapai 10-12° C lebih tinggi dari temperatur udara ambien di luar atau sekitar 45- 47°C.

Sedangkan berdasarkan IACS (*International Association of Classification Societies*) 1978: rule M28, kondisi acuan yang berlaku untuk kamar mesin kapal adalah :

- Total barometric pressure : 1,000 mbar
- Air temperatur : +45°C
- Relative humidity : 60%
- Seawater temperatur : 32°C (*Charge air coolant inlet*)

2.4 Perhitungan Beban Kalor

Perhitungan beban kalor penting dilakukan agar dapat mengetahui beban panas total yang ada pada kamar mesin sehingga sistem pengkondisian udara melalui saluran udara dapat diperhitungkan dengan baik agar temperatur di dalam kamar mesin dapat sesuai dengan standar. Setiap komponen yang ada pada kamar mesin berpotensi mengeluarkan kalor seperti Main Engine, Generator, Pompa, pekerja, dan lain-lain. Perhitungan beban kalor terbagi menjadi dua yaitu beban kalor internal seperti Mesin utama, mesin bantu, pompa dan beban kalor eksternal seperti beban transmisi dari dinding kamar mesin.

2.4.1 Beban kalor internal

Beban kalor internal adalah beban kalor yang disebabkan oleh setiap komponen yang ada pada kamar mesin seperti mesin utama, mesin bantu, pompa, pekerja yang ada di dalam kamar mesin (SNAME, Buletin 4-16, 2015). Untuk perhitungan setiap komponen dapat diketahui pada poin-poin berikut.

1. Main Engine.

Mesin Utama memiliki fungsi untuk menggerakkan sistem propulsi kapal dan beberapa sistem pada kapal seperti *cooling system*, *lubricating system*, dll. Karena hal tersebut maka panas yang dikeluarkan oleh mesin utama akibat pembakaran yang berlangsung dan gas buang yang dihasilkan oleh pembakaran akan besar tergantung besarnya daya yang dihasilkan mesin itu sendiri. Adapun beban panas/kalor yang dibebaskan oleh mesin utama dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q = 0,02 N_e \times g_c \times Q_f \quad (2.1)$$

Dengan :

N_e = Daya main engine, HP

g_c = Specific fuel oil consumption, kg/HP.hr

Q_f = Caloric value of fuel (DO = 10100 kkal/kg)

2. Generator.

Diesel Generator merupakan alat pembangkit listrik yang digunakan untuk keperluan penyuplai kebutuhan listrik dikapal baik di ruang akomodasi, ruang kamar mesin, crane untuk bongkar muat muatan, dll. Adapun beban panas yang dibebaskan oleh diesel generator dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q = 0,02 N_e \times g_c \times Q_f \quad (2.1)$$

Dengan :

N_e = Daya main engine, HP

g_c = Specific fuel oil consumption, kg/HP.hr

Q_f = Caloric value of fuel (DO = 10100 kkal/kg)

3. Peralatan-Peralatan Kamar Mesin.

Didalam ruang kamar mesin terdapat berbagai peralatan yang menggunakan sumber daya motor listrik, peralatan ini membutuhkan tenaga listrik untuk dapat beroperasi. Motor listrik yang menjadi sumber tenaga dari peralatan akan membebaskan panas ketika bekerja. Dengan adanya arus listrik maka peralatan akan menghasilkan panas karena sifat dari arus listrik itu sendiri yang menghasilkan panas. Adapun beban panas yang dibebaskan oleh peralatan dengan sumber daya motor listrik dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q = 864 \times N \times \left(\frac{1-\eta}{\eta}\right) \quad (2.2)$$

Dengan :

N = Daya motor, HP

η = Efisiensi motor, dimana efisiensi motor adalah sebagai berikut :

Tabel 2.1 Efisiensi motor listrik

Daya Motor (HP)	Efisiensi
$\leq 1/8$	0,5
1/6 - 1/4	0,6
1/3 - 2	0,7
2 - 10	0,85

4. Beban kalor pekerja/ABK

Selain komponen kamar mesin yang dapat mengeluarkan panas, manusia juga berpotensi mengeluarkan panas dari dalam tubuh hal ini disebabkan oleh metabolisme dari tubuh manusia sehingga dapat mengeluarkan panas. Dalam hal ini beban panas yang dikeluarkan manusia bergantung pada aktivitas atau pekerjaan yang dilakukan seperti berjalan, duduk, berlari, atau pekerjaan berat seperti mengangkat barang, dan mengoperasikan alat. Beban panas yang dikeluarkan setiap manusia berdasarkan jenis kegiatan atau pekerjaan dapat dilihat pada tabel berdasarkan ANSI/ASHRAE Standard 55-2017 yang ada pada LAMPIRAN penelitian ini.

2.4.2 Beban kalor eksternal

Beban kalor eksternal adalah beban kalor yang disebabkan oleh beban transmisi yang ada pada kamar mesin seperti beban transmisi dinding yang dalam hal ini dinding terbuat dari plat baja. Untuk perhitungan beban transmisi dinding kamar mesin dapat diketahui melalui persamaan berikut (Holman, J. 2007):

$$Q = U \times A \times \Delta T \quad (2.3)$$

Dimana :

Q = Laju perpindahan panas (Watt)

U = Koefisien perpindahan panas ($W/m^2^{\circ}C$)

A = Luas dinding, atap, lantai (m^2)

ΔT = Selisih antara temperatur udara luar dan dalam ($^{\circ}C$)

Nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan (U) pada dinding, atap dan lantai dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{in}} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h_{out}}} \quad (2.4)$$

Dimana :

- U = Koefisien perpindahan panas (W/m²°C)
- x = Ketebalan material (m)
- k = Konduktivitas termal (W/m²°C)
- h_{in} = Koefisien konveksi dalam (W/m²°C)
- h_{out} = Koefisien konveksi luar (W/m²°C)

2.5 Computational Fluid Dynamics (CFD)

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah metode penghitungan dengan sebuah kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi komputer untuk melakukan penghitungan pada tiap-tiap elemen pembagiannya. Prinsipnya adalah suatu ruang berisi fluida yang akan dilakukan penghitungan dibagi menjadi beberapa bagian, hal ini sering disebut dengan sel dan prosesnya (*meshing*). Bagian-bagian yang terbagi tersebut merupakan sebuah kontrol penghitungan. Pada setiap titik kontrol penghitungan akan dilakukan penghitungan oleh aplikasi dengan batasan domain dan *boundary condition* yang telah ditentukan (M. Subekti, 2019).

CFD merupakan penghitungan yang mengkhususkan pada fluida. Mulai dari aliran fluida, *heat transfer* dan reaksi kimia yang terjadi pada fluida. Atas prinsip-prinsip dasar mekanika fluida, konservasi energi, momentum, massa, serta species, penghitungan dengan CFD dapat dilakukan. Secara sederhana proses penghitungan yang dilakukan oleh aplikasi CFD adalah dengan kontrol-kontrol penghitungan yang telah dilakukan maka kontrol penghitungan tersebut akan memanfaatkan persamaan-persamaan yang terlibat. Persamaan - persamaan ini adalah persamaan yang membangkitkan dengan memasukan parameter apa saja yang terlibat dalam domain. Misalnya ketika suatu model yang akan dianalisa melibatkan temperatur berarti model tersebut melibatkan persamaan energi atau konservasi dari energi tersebut. Inisialisasi awal dari persamaan adalah *boundary condition*. *Boundary condition* adalah kondisi di mana kontrol-kontrol

penghitungan didefinisikan sebagai definisi awal yang akan dilibatkan ke control - kontrol penghitungan yang berdekatan dengannya melalui persamaan-persamaan yang terlibat.

Dalam tugas akhir ini akan digunakan *software Ansys CFX* versi 2022 dengan kemampuan untuk menyajikan beberapa besaran dalam analisa fluida seperti suhu tekanan, kecepatan aliran udara. Secara umum proses penghitungan CFD terdiri atas 3 bagian utama yaitu: *Pre-processor, Solver, Post-processor*

2.5.1 *Pre-processor (CFX build)*

Langkah-langkah dalam tahap *pre-processing* yaitu:

1. Definisi geometri region yang telah di buat.
2. Pemecahan domain menjadi beberapa sub domain yang lebih kecil dari hasil meshing geometri.
3. Pemilihan fenomena fisik yang perlu dimodelkan.
4. Definisi properties fluida.
5. Spesifikasikan kondisi batas yang sesuai pada selsel yang berhimpit dengan batas domain.

Solusi sebuah problem fluida (kecepatan, tekanan, suhu dan sebagainya) didefinisikan di setiap node di dalam masing - masing sel. Akurasi sebuah solusi CFD ditentukan oleh jumlah sel dalam grid. Secara umum, semakin besar jumlah sel maka semakin baik keakurasiannya. Lama tidaknya perhitungan dalam literasi tergantung kepada halus atau rapatnya grid. Pembuatan geometri pada CFX-Build dapat dibuat secara langsung dari *CFX – build* maupun diimport dari program CAD yang lainnya seperti PATRAN, UNIGRAPHICS, SOLIDWORKS, RHINOCEROS, CATIA, ACAD, PRO/ENGINEER dan lain-lain.

2.5.2 *Solver*

Dalam tahap ini CFD akan dilakukan perhitungan terhadap model yang di buat pada tahap *pre-processor*. Kerangka utama metode numerik untuk dasar sebuah solver terdiri dari langkah-langkah :

1. Aproksimasi variabel-variabel aliran yang tidak diketahui dengan fungsi-fungsi sederhana.

2. Diskretisasi dengan substitusi aproksimasi ke dalam persamaan atur aliran dan manipulasi matematis lanjut.
3. Solusi persamaan-persamaan aljabar Perbedaan utama di antara ketiga macam teknik adalah pada cara aproksimasi variabel-variabel aliran dan proses diskretisasi.

2.5.3 Post-processor

Hasil penghitungan modul solver berupa nilai-nilai numerik (angka-angka) variabel-variabel dasar aliran seperti komponen-komponen kecepatan, tekanan, temperatur dan fraksi-fraksi masa. Dalam modul post-processor nilai-nilai numerik ini diolah agar pengguna dapat dengan mudah membaca dan menganalisis hasil-hasil penghitungan CFD. Hasil-hasil ini dapat disajikan dalam bentuk visualisasi ataupun kontur-kontur distribusi parameterparameter aliran fluida. Adapun data visualisasi model yang bias ditampilkan oleh post processor adalah sebagai berikut:

1. Gambar geometri model
2. Gambar surface sifat fluida
3. Animasi aliran fluida
4. Tampilan vector kecepatan
5. Gerakan rotasi, translasi dan penyekalaan
6. Arah aliran fluida

Dalam proses set-up dan running simulasi CFD ada tahapan identifikasi dan formulasi permasalahan aliran dengan pertimbangan fenomena fisika dan kimia. Pemahaman yang cukup baik diperlukan dalam menyelesaikan algoritma penyelesaian numerik. Ada tiga konsep matematika yang digunakan dalam menentukan berhasil atau tidaknya algoritma berdasarkan AEA Technology,1996, yaitu:

1. Konvergensi yaitu properti metode numerik untuk menghasilkan penyelesaian eksakta sebagai grid spacing ukuran control volume atau ukuran elemen dikurangi mendekati nol. Konvergensi biasanya sulit untuk didapatkan secara teoritis.

2. Konsistensi yaitu urutan numeric untuk menghasilkan system persamaan aljabar yang dapat diperlihatkan sama (equivalen) dengan persamaan pengendali sebagai jarak grid mendekati nol.
3. Stabilitas yaitu penggunaan faktor kesalahan sebagai indikasi metode numerik. Jika sebuah teknik tidak stabil dalam setiap kesalahan pembuatan pada data awal maka dapat menyebabkan terjadinya osilasi atau divergensi.

2.5.4 Proses Validasi

Dengan proses perhitungan pendekatan CFX melalui beberapa tahap validasi. Tahap validasi untuk mengetahui model itu sesuai dengan kenyataan dalam CFX adalah sebagai berikut (K. Sieto, 2004) :

1. *Convergence*

Pada tahap ini proses iterasi perhitungan akan selalu dikontrol dengan persamaan pengendali. Jika hasil perhitungan belum sesuai dengan tingkat kesalahan yang ditentukan, maka komputasi akan terus berjalan.

2. *Grid Independence*

Besarnya jumlah cell yang kita gunakan dalam perhitungan akan menentukan keakuratan hasil yang didapat. Tetapi tidak selamanya dengan jumlah cell yang lebih banyak akan dapat menambah keakuratan hasil perhitungan. Dengan demikian pengguna dituntut untuk dapat menentukan jumlah cell yang optimum dari input geometri yang dibuat, agar waktu perhitungan tidak terlalu lama dan memori komputer yang terpakai tidak selalu besar.

3. Verifikasi hasil dengan teori atau data lain.

Keakuratan hasil perhitungan dengan pendekatan CFX perlu dibandingkan dengan teori atau data-data lainnya yang telah ada sebelumnya. Sehingga hasil perhitungan tidak diragukan lagi