

TUGAS AKHIR - ME 234802

**ANALISIS PENAMBAHAN *FLAPS* PADA *SNORKEL TANK*
SISTEM VENTILASI *SUBMERSIBLE VEHICLE*
MENGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID*
*DYNAMICS***

MUHAMMAD FAHRI RAMADHAN

NRP 5019201008

Dosen Pembimbing

Ir. Irfan Syarief Arief, M.T.

NIP 196912251997021001

Dr. Achmad Baidowi, S.T., M.T.

NIP 2022199211032

Program Studi S-1 Teknik Sistem Perkapalan

Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2024



TUGAS AKHIR - 234802

**ANALISIS PENAMBAHAN FLAPS PADA SNORKEL TANK
SISTEM VENTILASI SUBMERSIBLE VEHICLE
MENGUNAKAN METODE COMPUTATIONAL FLUID
DYNAMICS**

MUHAMMAD FAHRI RAMADHAN

NRP 5019201008

Dosen Pembimbing

Ir. Irfan Syarief Arief, M.T.

NIP 196912251997021001

Dr. Achmad Baidowi, S.T., M.T.

NIP 2022199211032

Program Studi S-1 Teknik Sistem Perkapalan

Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2024



FINAL PROJECT - ME 234802

**ANALYSIS OF ADDING FLAPS TO SNORKEL TANK
SUBMERSIBLE VEHICLE VENTILATION SYSTEM USING
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS METHOD**

MUHAMMAD FAHRI RAMADHAN

NRP 5019201008

Advisor

Ir. Irfan Syarief Arief, M.T.

NIP 196912251997021001

Dr. Achmad Baidowi, S.T., M.T.

NIP 2022199211032

Study Program Marine Engineering Undergraduate

Department of Marine Engineering

Faculty of Maritime Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2024

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS PENAMBAHAN FLAPS PADA SNORKEL TANK SISTEM VENTILASI
SUBMERSIBLE VEHICLE MENGGUNAKAN METODE COMPUTATIONAL
FLUID DYNAMICS**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
Memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Teknik Sistem Perkapalan
Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **MUHAMMAD FAHRI RAMADHAN**

NRP. 5019201008

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



Tanda Tangan :
Kepala Departemen : Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph. D
NIP : 197903192008011008
Tanggal : 31 Juli 2024

SURABAYA

JULI, 2024

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENAMBAHAN FLAPS PADA SNORKEL TANK SISTEM VENTILASI SUBMERSIBLE VEHICLE MENGGUNAKAN METODE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana pada
Program Studi S-1 Teknik Sistem Perkapalan
Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **MUHAMMAD FAHRI RAMADHAN**
NRP. 5019201008

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Irfan Syarief Arief, M.T.

Pembimbing

2. Dr. Achmad Baidowi, S.T., M.T.

Ko-pembimbing

3. Ir. Amiadji, M.Sc

Penguji

4. Sunarsih, S.T., M.Eng., Ph.D

Penguji

SURABAYA

Juli, 2024

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Muhammad Fahri Ramadhan/ 5019201008
Program studi : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing / NIP : 1. Ir. Irfan Syarief Arief, M.T.
2. Dr. Achmad Baidowi, S.T., M.T.

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “ ANALISIS PENAMBAHAN *FLAPS* PADA *SNORKEL TANK* SISTEM VENTILASI *SUBMERSIBLE VEHICLE* MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* ” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 31 Juli 2024

Mahasiswa



Muhammad Fahri Ramadhan
NRP. 5019201008

Mengetahui
Dosen Pembimbing 1



Ir. Irfan Syarief Arief, M.T.
NIP. 196912251997021001

Mengetahui
Dosen Pembimbing 2



Dr. Achmad Baidowi, S.T., M.T.
NIP. 2022199211032

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRAK

ANALISIS PENAMBAHAN FLAPS PADA SNORKEL TANK SISTEM VENTILASI SUBMERSIBLE VEHICLE MENGGUNAKAN METODE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Nama Mahasiswa / NRP : **Muhammad Fahri Ramadhan / 5019201008**
Departemen : **Teknik Sistem Perkapalan - ITS**
Dosen Pembimbing : **Ir. Irfan Syarief Arief, M.T.**
Dr. Achmad Baidowi, S.T., M.T.

Abstrak

Sistem HVAC pada *submersible vehicle* memiliki fungsi sebagai pengatur suhu, penjaga kelembaban, sirkulasi udara, suplai udara ke pembakaran mesin dan pengendali tekanan. Optimalisasi sistem HVAC ini perlu dilakukan dalam rangka meningkatkan efisiensi energi, meningkatkan kenyamanan dan kesehatan awak kapal serta menjaga kinerja peralatan yang ada di *submersible vehicle*. Untuk mengoptimalkan sistem HVAC yang ada, maka perlu dilakukan adanya modifikasi penambahan flaps pada snorkel tank di *submersible vehicle*. Modifikasi ini perlu disimulasikan untuk mendapatkan gambaran terkait pengaruh modifikasi ke dalam sistem HVAC yang sudah ada. Simulasi CFD (Computational Fluid Dynamics) yang digunakan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan variabel tekanan, kelembaban, kecepatan dan suhu udara pada ruang – ruang di *submersible vehicle* akibat dari modifikasi penambahan flaps pada snorkel tank. Hasil simulasi menunjukkan bahwa perbedaan suhu dalam *submersible vehicle* terjadi dari rentang 0,99% hingga 4,77%, perbedaan tekanan terjadi dari rentang 0,15% hingga 1,71%, perbedaan kelembaban terjadi dari rentang 0,02% hingga 12,29%. Analisis ini menunjukkan bahwa modifikasi memiliki pengaruh yang bervariasi pada setiap parameter lingkungan di tiap ruangan. Ruang Baterai A mengalami peningkatan terbesar dalam kecepatan aliran udara, Ruang Baterai B mengalami perubahan terbesar dalam suhu dan kelembaban, serta Ruang Operasi 1 dan Ruang Operasi 2 mengalami penurunan terbesar dalam tekanan rata-rata.

Kata kunci : **Kelembaban, Snorkel Tank, Submersible Vehicle, Suhu, Tekanan**

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRACT

ANALYSIS OF ADDING FLAPS TO SNORKEL TANK SUBMERSIBLE VEHICLE VENTILATION SYSTEM USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS METHOD

Student Name / NRP : **Muhammad Fahri Ramadhan / 5019201008**
Department : **Teknik Sistem Perkapalan - ITS**
Advisor : **Ir. Irfan Syarief Arief, M.T.**
Dr. Achmad Baidowi, S.T., M.T.

Abstract

The HVAC system on a submersible vehicle functions as a temperature regulator, humidity controller, air circulator, air supply for engine combustion, and pressure controller. Optimizing this HVAC system is necessary to improve energy efficiency, enhance the comfort and health of the crew, and maintain the performance of the equipment in the submersible vehicle. To optimize the existing HVAC system, modifications by adding flaps to the snorkel tank in the submersible vehicle are needed. This modification must be simulated to understand its impact on the existing HVAC system. The CFD (Computational Fluid Dynamics) simulation used in this study aims to determine the changes in variables such as pressure, humidity, air velocity, and temperature in the compartments of the submersible vehicle due to the modification of adding flaps to the snorkel tank. The simulation results show that temperature differences in the submersible vehicle range from 0.99% to 4.77%, pressure differences range from 0.15% to 1.71%, and humidity differences range from 0.02% to 12.29%. This analysis indicates that the modification has varying impacts on each environmental parameter in each room. The Battery Room A had the greatest increase in airflow velocity, The Battery Room B had the greatest change in temperature and humidity, and the Operating Room 1 and Operating Room 2 had the largest decrease in average pressure.

Keywords: Humidity, Pressure, Snorkel Tank, Submersible Vehicle, Temperature

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah subhanahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga penulis berhasil menyelesaikan tugas akhir ini. Judul tugas akhir ini adalah “ANALISIS PENAMBAHAN *FLAPS* PADA *SNORKEL TANK* SISTEM VENTILASI *SUBMERSIBLE VEHICLE* MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* ”. Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi untuk memperoleh gelar sarjana di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Pada saat pelaksanaan penelitian dan penulisan tugas akhir ini, penulis memiliki beberapa hambatan dan rintangan, namun penulis mampu menyelesaikan karena adanya bantuan, bimbingan, doa, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala rasa syukur dan hormat, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua beserta kakak yang selalu memberikan doa serta dukungan moral maupun material kepada penulis,
2. Bapak Irfan Syarief Arief, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang selalu mengarahkan dan memberikan masukan terkait tugas akhir ini,
3. Bapak Dr. Achmad Baidowi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang selalu membimbing dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini,
4. Bapak Ir. Amiadji, M.Sc. selaku dosen wali yang selalu mengarahkan dan memotivasi penulis,
5. Bapak Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan,
6. Bapak Fajri Narotama, yang membimbing dan memberikan wawasan terkait topik penelitian,
7. Citra Ayu Setyawati, yang menemani, memberikan dukungan dan motivasi, serta mendengarkan keluh kesah sejak awal perkuliahan hingga penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Teman-teman pengurus Laboratorium *Marine Manufacturing and Design Laboratory* (MMD) yang selalu mendukung dalam pengerjaan tugas akhir ini,
9. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis berharap semoga Allah SWT memberikan kebaikan kepada seluruh pihak yang terlibat dalam penyelesaian tugas akhir ini dan hasil tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan di kemudian hari.

Surabaya, 31 Juli 2024

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Pendahuluan.....	3
2.2 Studi Terkait	3
2.3 Teori Dasar	5
2.3.1 Sistem Udara Mekanis	5
2.3.2 Perpidahan Kalor.....	6
2.4.2 Heat Flux	7
2.3.3 Persamaan Gas Ideal	8
2.3.4 Computational Fluid Dynamics	9
2.3.5 Peraturan Det Norske Veritas Germanischer Lloyd (DNV GL).....	9
2.3.6 Batas Kelembaban yang Dianjurkan oleh ASHRAE.....	10
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	11
3.1 Pendahuluan.....	11
3.2 Studi Literatur	11
3.3 Identifikasi Masalah.....	11
3.4 Diagram Alir Penelitian	14
3.5 Desain Penelitian	16
3.5.1 Tahap Persiapan	16
3.5.2 Tahap Pengumpulan Data	16

3.5.3 Pembuatan Model 3D	18
3.5.4 Simulasi Model	20
3.6 Validasi Simulasi	29
3.7 Analisa Data dan Pembahasan	29
3.8 Kesimpulan dan Saran	29
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Hasil Penelitian	31
4.1.1 Hasil Simulasi Pada Ducting <i>Submersible Vehicle</i>	31
4.1.2 Hasil Simulasi Pada Ruang Operasi 1, Operasi 2 dan Ruang Operasi 3.....	36
4.1.3 Hasil Simulasi Pada Ruang Baterai A dan Ruang Permesinan Bantu	40
4.1.4 Hasil Simulasi Pada Ruang Baterai B	44
4.1.5 Hasil Simulasi Pada Ruang Permesinan.....	49
4.2 Pembahasan	54
4.2.1 Perbandingan Data Suhu, Tekanan, Kecepatan dan Kelembaban pada Ducting di Submersible Vehicle	54
4.2.2 Perbandingan Data Suhu, Tekanan, Kecepatan dan Kelembaban pada Tiap Ruangan di Submersible Vehicle	56
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA.....	61
LAMPIRAN	63
BIODATA PENULIS.....	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Ventilasi Mekanis (Utomo, 2007).....	6
Gambar 2.2 Peraturan DNV GL Mengenai Temperatur di dalam Kamar Mesin	10
Gambar 2.3 Pedoman suhu & kelembapan ASHRAE untuk pusat data dan fasilitas telekomunikasi (Hydeman 2010, Hydeman dan Swenson 2010).....	10
Gambar 3.1 Alat yang dipakai a) Anemometer b) Meteran c) Pistol Suhu d) Hygrometer.	17
Gambar 3.2 Data suhu lingkungan	17
Gambar 3.3 Data kelembaban lingkungan	18
Gambar 3.4 Tampilan Awal OnShape.....	18
Gambar 3.5 Tampilan <i>Part Studio</i> Awal OnShape	19
Gambar 3.6 Pemodelan 3D.....	19
Gambar 3.7 Modifikasi Penambahan Flaps.....	20
Gambar 3.8 Domain Untuk Simulasi	21
Gambar 3.9 Domain Untuk Simulasi	21
Gambar 3.10 Mesh di Simscales.....	22
Gambar 3.11 Tampilan pengaturan mesh	22
Gambar 3.12 Tampilan Pemilihan Simulasi	24
Gambar 3.13 Tampilan Menu Kerja pada Simscales	25
Gambar 3.14 Tampilan Pengaturan Simulasi Awal	26
Gambar 3.15 Tampilan Pemilihan Material.....	26
Gambar 3.16 Tampilan Pemilihan <i>Initial Condition</i>	27
Gambar 3.17 Tampilan <i>Boundary Condition</i>	27
Gambar 3.18 Tampilan <i>Numerical Setting</i>	28
Gambar 3.19 Tampilan Kontrol Simulasi.....	29
Gambar 4.1 Tekanan Pada Ducting Kondisi Awal	31
Gambar 4.2 Tekanan Pada Ducting Kondisi Modifikasi	32
Gambar 4.3 Suhu Pada Ducting Kondisi Awal.....	32
Gambar 4.4 Suhu Pada Ducting Kondisi Modifikasi	33
Gambar 4.5 Distribusi Udara Pada Ducting Kondisi Awal	34
Gambar 4.6 Distribusi Udara Pada Ducting Kondisi Modifikasi	34
Gambar 4.7 Kelembaban Pada Ducting Kondisi Awal.....	35
Gambar 4.8 Kelembaban Pada Ducting Kondisi Modifikasi	36
Gambar 4.9 Tekanan Pada Ruang Operasi 1, Operasi 2 dan Operasi 3 Kondisi Awal.....	37
Gambar 4.10 Tekanan Pada Ruang Operasi 1, Operasi 2 dan Operasi 3 Kondisi Modifikasi	37
Gambar 4.11 Suhu Pada Ruang Operasi 1, Operasi 2 dan Operasi 3 Kondisi Awal	38
Gambar 4.12 Suhu Pada Ruang Operasi 1, Operasi 2 dan Operasi 3 Kondisi Modifikasi..	38
Gambar 4.13 Distribusi Udara Pada Ruang Operasi 1, Operasi 2 dan Operasi 3 Kondisi Awal.....	39
Gambar 4.14 Distribusi Udara Pada Ruang Operasi 1, Operasi 2 dan Operasi 3 Kondisi Modifikasi.....	39
Gambar 4.15 Kelembaban Pada Ruang Operasi 1, Operasi 2 dan Operasi 3 Kondisi Awal	40
Gambar 4.16 Kelembaban Pada Ruang Operasi 1, Operasi 2 dan Operasi 3 Kondisi Modifikasi.....	40

Gambar 4.17 Tekanan Pada Ruang Baterai A dan Ruang Permesinan Bantu Kondisi Awal	41
Gambar 4.18 Tekanan Pada Ruang Baterai A dan Ruang Permesinan Bantu Kondisi Modifikasi.....	41
Gambar 4.19 Suhu Pada Ruang Baterai A dan Ruang Permesinan Bantu Kondisi Awal....	42
Gambar 4.20 Suhu Pada Ruang Baterai A dan Ruang Permesinan Bantu Kondisi Modifikasi.....	42
Gambar 4.21 Distribusi Udara Pada Ruang Baterai A dan Ruang Permesinan Bantu Kondisi Modifikasi	43
Gambar 4.22 Kelembaban Pada Ruang Baterai A dan Ruang Permesinan Bantu Kondisi Awal.....	44
Gambar 4.23 Kelembaban Pada Ruang Baterai A dan Ruang Permesinan Bantu Kondisi Modifikasi.....	44
Gambar 4.24 Tekanan Pada Ruang Baterai B Kondisi Awal.....	45
Gambar 4.25 Tekanan Pada Ruang Baterai B Kondisi Modifikasi	45
Gambar 4.26 Suhu Pada Ruang Baterai B Kondisi Awal	46
Gambar 4.27 Suhu Pada Ruang Baterai B Kondisi Modifikasi	47
Gambar 4.28 Distribusi Udara Pada Ruang Baterai B Kondisi Awal.....	47
Gambar 4.29 Distribusi Udara Pada Ruang Baterai B Kondisi Modifikasi	48
Gambar 4.30 Kelembaban Pada Ruang Baterai B Kondisi Awal	48
Gambar 4.31 Kelembaban Pada Ruang Baterai B Kondisi Modifikasi	49
Gambar 4.32 Tekanan Pada Ruang Permesinan Kondisi Awal	50
Gambar 4.33 Tekanan Pada Ruang Permesinan Kondisi Modifikasi.....	50
Gambar 4.34 Suhu Pada Ruang Permesinan Kondisi Awal	51
Gambar 4.35 Suhu Pada Ruang Permesinan Kondisi Modifikasi.....	51
Gambar 4.36 Distribusi Udara Pada Ruang Permesinan Kondisi Awal	52
Gambar 4.37 Distribusi Udara Pada Ruang Permesinan Kondisi Modifikasi.....	52
Gambar 4.38 Kelembaban Pada Ruang Permesinan Kondisi Awal	53
Gambar 4.39 Kelembaban Pada Ruang Permesinan Kondisi Modifikasi.....	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Studi Terkait.....	3
Tabel 3.1 Maximum & Rekomendasi Kualitas <i>Meshing</i>	23
Tabel 4.1 Perbandingan Data Kecepatan Aliran pada Ducting	54
Tabel 4.2 Perbandingan Data Suhu pada Ducting	54
Tabel 4.3 Perbandingan Data Kelembaban pada Ducting	55
Tabel 4.4 Perbandingan Data Tekanan pada Ducting	55
Tabel 4.5 Perbandingan Data Kecepatan Aliran pada Ruangan	56
Tabel 4.6 Perbandingan Data Suhu pada Ruangan.....	56
Tabel 4.7 Perbandingan Data Kelembaban pada Ruangan.....	57
Tabel 4.8 Perbandingan Data Tekanan pada Ruangan.....	58

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR SIMBOL

Δt	=	Beda temperatur
hc	=	koefisien konveksi
K	=	Daya hantar (konduktivitas termal)
L	=	Panjang Benda
P	=	Tekanan Gas
T	=	Suhu absolut
V	=	Volume gas
σ	=	Koefisien Stefan Boltzman
A	=	Luas penampang
E_b	=	Daya pancar radiasi
Q	=	Laju perpindahan panas
Q_{cond}	=	laju perpindahan panas konduksi
Q_{conv}	=	Laju perpindahan panas konveksi
R	=	Konstanta gas ideal
n	=	Jumlah partikel gas
q	=	Fluks panas rata-rata
t_f	=	Suhu fluida
t_s	=	Suhu permukaan

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Submersible vehicle merupakan jenis kapal yang dirancang untuk mampu beroperasi di bawah permukaan air laut. *Submersible vehicle* umumnya digunakan untuk kepentingan militer. Dalam militer, *submersible vehicle* mengemban fungsi asasi sebagai pengintaian taktis dan strategis, menyelenggarakan peperangan antikapal permukaan, dan menyelenggarakan peperangan antisubmersible vehicle (Marsetio, 2018). Pada saat melaksanakan suatu misi, *submersible vehicle* harus dapat mampu menyelam selama sehari – hari. Selama melaksanakan penyelaman *submersible vehicle* menggunakan suplai energi dari baterai. Apabila baterai habis maka *submersible vehicle* harus naik ke permukaan air agar dapat diisi menggunakan generator diesel. Keadaan saat *submersible vehicle* sedang mengisi daya baterai di permukaan ini disebut dengan mode *snorkel*.

Mode *snorkel* memungkinkan *submersible vehicle* untuk dapat mengambil udara dan menghilangkan gas buang selama proses pengisian daya baterai menggunakan generator diesel. Generator diesel membutuhkan udara untuk melakukan proses pembakaran. Udara yang ada di kamar mesin akan dihisap oleh generator sehingga kamar mesin harus memiliki sistem ventilasi yang terhubung dengan udara luar. Sistem ventilasi ini harus bisa mensuplai kebutuhan udara untuk proses pembakaran pada generator *submersible vehicle*.

Suplai udara pada sistem ventilasi *submersible vehicle* harus sesuai dengan kebutuhan agar generator dapat bekerja dengan maksimal. Selain itu, suplai udara ini berkaitan dengan kondisi tekanan udara yang ada di dalam *submersible vehicle*. Jika suplai udara jumlahnya lebih rendah dari yang dibutuhkan maka akan terjadi fenomena penurunan tekanan (*backpressure*) dan kenaikan suhu di dalam *pressure hull submersible vehicle*. Hal tersebut akan menimbulkan ketidaknyamanan bagi manusia. Jika kondisi tersebut terus dibiarkan dalam jangka panjang maka dapat menyebabkan penyakit *barotrauma*. *Barotrauma* adalah kerusakan jaringan telinga yang disebabkan oleh ruang telinga tengah yang tidak mampu menyamakan tekanan dengan lingkungan (Prasetyo *et al.*, 2012).

Tekanan udara yang turun dan kenaikan suhu disebabkan oleh kurangnya suplai udara ke dalam kamar mesin. Kurangnya suplai udara dapat dipengaruhi oleh *snorkel tank* yang tidak sesuai. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kenyamanan dan mengoptimalkan operasional akan dilakukan penelitian tentang analisis modifikasi penambahan *flaps* pada *snorkel tank* sistem ventilasi *submersible vehicle* menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Penelitian ini diharapkan dapat menjadi rekomendasi solusi untuk fenomena penurunan tekanan udara dan kenaikan suhu pada kamar mesin *submersible vehicle*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan diteliti berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana tekanan, kelembaban, kecepatan dan suhu udara yang melalui *snorkel tank* pada sistem ventilasi *submersible vehicle* saat ini?
2. Bagaimana perubahan tekanan, kelembaban, kecepatan dan suhu aliran udara yang terjadi setelah penambahan *flaps snorkel tank* pada sistem ventilasi *submersible vehicle*?
3. Apakah modifikasi ini berpengaruh terhadap penurunan kelembaban yang ada tiap ruangan *submersible vehicle*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka dapat dirumuskan tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui tekanan, kelembaban, *flow rate* dan volume udara yang melalui *snorkel tank* pada sistem ventilasi *submersible vehicle* saat ini.
2. Mengetahui perubahan tekanan, kelembaban, kecepatan dan volume aliran udara yang terjadi setelah penambahan *flaps snorkel tank* pada sistem ventilasi *submersible vehicle*.
3. Mengetahui pengaruh modifikasi terhadap penurunan kelembaban yang ada di tiap ruangan *submersible vehicle*.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dalam penelitian ini meliputi aspek – aspek sebagai berikut

1. Simulasi menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic (CFD)*
2. Simulasi ini dilakukan dengan keadaan kamar mesin dan ruang baterai yang beroperasi saat mode *snorkel*.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan dari penelitian, manfaat dari dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan gambaran kondisi aliran udara yang melalui *snorkel tank* pada sistem ventilasi *submersible vehicle* saat ini.
2. Dapat menjadi rekomendasi dan masukan bagi pihak terkait untuk mengoptimalkan sistem ventilasi pada *submersible vehicle*.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Pada bagian ini, dilakukan penelitian literatur untuk memberikan panduan dalam menyelesaikan masalah penelitian tentang modifikasi tangki snorkel pada *submersible vehicle*. Bab ini disusun berdasarkan referensi dari berbagai sumber, termasuk buku, jurnal, dan karya ilmiah. Penelitian literatur dimulai dengan bibliometric analysis untuk mengetahui kekosongan pada penelitian yang ada. Selanjutnya penelitian dilakukan dengan studi terkait yang membahas analisis sistem HVAC dengan pendekatan CFD. Studi ini memberikan gambaran umum tentang sistem HVAC dan bagaimana CFD dapat digunakan untuk menganalisisnya. Bab ini membahas dasar-dasar teori yang berkaitan dengan modifikasi tangki snorkel pada *submersible vehicle*. Dasar-dasar teori ini meliputi sistem ventilasi, perpindahan panas, hubungan densitas dengan suhu, pemahaman dasar CFD. Dengan mempelajari dasar-dasar teori ini, peneliti dapat memahami masalah penelitian dengan lebih baik dan mengembangkan solusi yang tepat.

2.2 Studi Terkait

Penelitian tugas akhir ini membutuhkan referensi berupa penelitian sebelumnya untuk mendukungnya. Beberapa penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian analisis sistem HVAC dengan pendekatan CFD adalah sebagai berikut.

Tabel 2.1 Penelitian Studi Terkait

No.	Penelitian	
1	Judul:	Analisa Supply Aliran Udara Terhadap Variabel Suhu, Tekanan, Dan Kecepatan Udara Pada kamar Mesin Kapal Tanker 6500 DWT Menggunakan Computational Fluid Dynamics
	Penulis:	Puspa Puspitasari, Ridho Hantoro, Sarwono
	Ulasan:	Penelitian ini menguji dampak perubahan kecepatan udara suplai inlet ducting pada sistem ventilasi udara mekanikal di kamar mesin. Penelitian menggunakan simulasi CFD dengan metode SST. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: <ol style="list-style-type: none">1. Peningkatan kecepatan udara suplai inlet ducting sebesar 5% dapat menurunkan suhu di bidang 1 dan 10 sebesar 0,5% hingga 6,5%.2. Semakin besar kecepatan udara suplai inlet ducting, maka luas isosurface dalam suhu 45°C, 46°C, 47°C, 48°C, 49°C, dan 50°C akan semakin berkurang.3. Variasi 3 hingga 6 merupakan variasi yang cocok untuk kamar mesin berdasarkan sisi suhu dalam bidang irisan dan luas isosurface.4. Peningkatan kecepatan udara suplai inlet ducting dapat meningkatkan tekanan rata-rata kamar mesin, kecuali di bidang 8.

2	Judul:	Modifikasi Desain Sistem Ventilasi Kamar Mesin KMP. Tanjung Sole
	Penulis:	Hario Pramudito, Alam Baheramsyah, Ede Mehta Wardhana
	Ulasan:	KMP. Tanjung Sole adalah kapal kembar yang beroperasi di wilayah Timur Indonesia. Kamar mesin KMP. Tanjung Sole memiliki temperatur yang lebih tinggi dari sister ship-nya, yaitu di atas 45 0C. Perbedaannya terletak pada tata letak permesinan dan desain ducting sistem ventilasi. Untuk mengatasi masalah tersebut, dilakukan evaluasi dan simulasi beberapa alternatif desain sistem ventilasi. Simulasi dilakukan dengan pendekatan CFD untuk menganalisa sebaran temperatur dan aliran udara ventilasi di dalam kamar mesin. Dari tiga alternatif desain yang ditawarkan, variasi 3 adalah yang paling baik untuk mengatasi masalah temperatur kamar mesin KMP. Tanjung Sole. Temperatur udara kamar mesin turun menjadi 43,5 0C, yang mana telah memenuhi persyaratan.
3	Judul:	Analisa Aliran Udara Di Kamar Mesin Pada KRI Oswald Siahaan – 354 Dengan Pendekatan CFD (Computational Fluid Dynamics)
	Penulis:	Sutrisno, Novi Shobi Hendri, Irfan Syarif Arief
	Ulasan:	Pada penelitian ini membahas temperatur kamar mesin KRI Oswald Siahaan-354 terlalu tinggi, yaitu rata-rata 60°C – 65°C. Suhu ini melebihi standar yang direkomendasikan, yaitu di bawah 45°C. Karena kamar mesin kedap udara, maka sirkulasi udara dibantu secara mekanis. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem ventilasi yang dapat menurunkan suhu kamar mesin hingga memenuhi standar. Penelitian ini menggunakan simulasi CFD untuk mengetahui pola aliran udara di dalam kamar mesin. Dari hasil simulasi, didapatkan rancangan sistem ventilasi yang memiliki saluran udara masuk dan keluar yang dilengkapi dengan damper. Dengan sistem ventilasi ini, suhu kamar mesin dapat diturunkan menjadi 43,5°C. Hasil ini telah memenuhi standar yang direkomendasikan.
4	Judul:	Analisa Penambahan Intercooler Pada Snorkel Tank Kapal Selam Saat Mode Snorkel
	Penulis:	Ipung Nur Wahyu Fadholi
	Ulasan:	Penelitian ini dimotivasi oleh penurunan tekanan dalam kamar mesin kapal selam sebesar 0,968 bar, membuat ventilasi saat ini kurang optimal dibandingkan tekanan normal 1,01325 bar. Tujuan penelitian adalah menganalisis dampak penambahan intercooler untuk mendinginkan udara masuk ke kapal selam, sesuai dengan suhu dan tekanan ideal. Fokus penelitian adalah menurunkan suhu untuk meningkatkan massa udara dan tekanan di kamar mesin. Kebutuhan suhu dihitung menggunakan persamaan gas ideal, menetapkan suhu udara masuk target sebesar 25,6 C dari kondisi eksisting 37,968 oC. Penelitian melibatkan variasi ketinggian fin hingga batas maksimal,

		dengan penambahan luas permukaan pada ketinggian maksimum yang dipilih. Variasi kecepatan air pendingin dilakukan untuk mendapatkan model fin yang memenuhi kebutuhan dengan energi perpindahan panas sebesar -1070,488 Watt. Hasil simulasi suhu intercooler digunakan dalam simulasi inlet di kamar mesin kapal selam.
5	Judul:	Analisis Perubahan Fan Sistem Ventilasi pada Kamar Mesin Kapal Selam untuk Meningkatkan Kapasitas Udara Masuk dengan Metode Computational Fluid Dynamics
	Penulis:	Agung Tuani Sihotang
	Ulasan:	Penelitian ini membahas masalah penggunaan generator diesel dengan turbocharger pada kapal selam sebagai sumber tenaga baterai, khususnya saat beroperasi dalam mode snorkel. Dalam kondisi ini, generator diesel memerlukan udara dari luar untuk pembakaran, menyebabkan backpressure pada silinder generator dan intake manifold turbocharger. Sistem ventilasi harus memadai untuk memastikan kondisi kerja yang nyaman di Ruang Permesinan, menyediakan udara pembakaran yang dibutuhkan, dan mencegah overheating pada peralatan peka terhadap panas. Penelitian ini menganalisis kondisi udara masuk di kamar mesin kapal selam dengan sistem ventilasi saat ini dan saat dilakukan perubahan kapasitas udara masuk. Metode Computational Fluid Dynamics (CFD) digunakan untuk mengoptimalkan kebutuhan udara dengan memvariasikan kapasitas dan suhu udara masuk. Data diperoleh dari laporan pengujian TNI AL, dokumen, dan survey lapangan. Solusi efektif diperlukan untuk memastikan ketersediaan daya yang optimal dalam kapal selam.

2.3 Teori Dasar

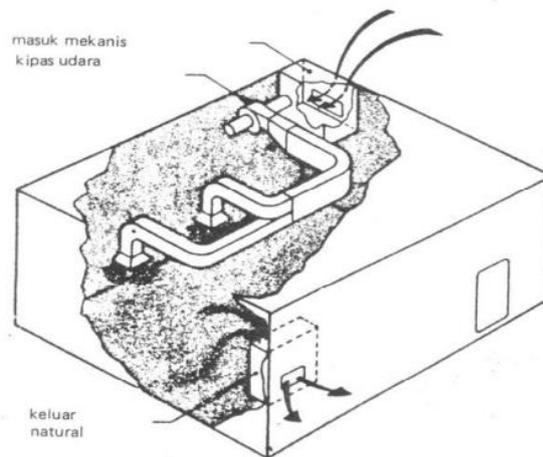
Bagian teori dasar menjelaskan tentang Kajian Pustaka, yang merupakan landasan teoritis untuk memahami permasalahan yang diteliti dalam Tugas Akhir. Teori yang disajikan di bagian ini berfungsi sebagai pedoman untuk menyelesaikan penelitian, mulai dari mengatasi tantangan penelitian hingga menjalankan tugas-tugas penelitian. Bagian ini dapat disajikan dalam bentuk narasi, model, atau persamaan matematis yang diambil dari literatur atau referensi lain yang sah.

2.3.1 Sistem Udara Mekanis

Sistem ventilasi mekanis didukung oleh penggunaan kipas (ventilator) untuk menggerakkan aliran udara. Udara dapat dialirkan melalui saluran udara berbentuk lingkaran, mirip dengan pipa atau saluran berbentuk persegi empat (duct). Ventilasi mekanis dapat diimplementasikan melalui tiga dasar sistem, yaitu sistem ventilasi pasokan udara (supply ventilation system), sistem ventilasi pembuangan udara (exhaust ventilation

system), dan sistem ventilasi pasokan-pembuangan udara (supply-exhaust ventilation system).

Sistem ventilasi pasokan udara berfungsi dengan memasukkan udara segar ke dalam ruangan kapal menggunakan kipas atau ventilator. Tujuan utamanya adalah mengatur tekanan udara dalam ruangan untuk mencegah infiltrasi udara panas atau kotor dari ruangan lain, seperti kamar mesin. Sebaliknya, sistem ventilasi pembuangan udara beroperasi dengan mengeluarkan udara panas dan kotor dari ruangan kapal, yang mengakibatkan penurunan jumlah udara di dalamnya. Biasanya, sistem ventilasi pembuangan digunakan di ruangan yang menghasilkan panas atau udara kotor, seperti ruang muat dan kamar mesin. Sementara itu, sistem ventilasi pasokan-pembuangan udara merupakan kombinasi dari kedua jenis ventilasi sebelumnya (Utomo, 2007).



Gambar 2.1 Sistem Ventilasi Mekanis (Utomo, 2007)

Jika sistem ventilasi pembuangan memiliki kapasitas lebih besar dibandingkan sistem ventilasi pasokan, hal ini dapat menyebabkan penurunan tekanan udara dan kepadatan udara yang signifikan. Penyebabnya adalah kapasitas kipas pasokan udara dan pipa saluran udara yang kurang memadai.

2.3.2 Perpidahan Kalor

Perpindahan kalor adalah proses perpindahan energi dari suatu benda ke benda lain karena perbedaan suhu. Perpindahan kalor dapat terjadi melalui tiga cara, yaitu:

a. Konduksi Panas:

Perpindahan panas terjadi ketika terdapat perbedaan suhu pada suatu benda, menyebabkan energi berpindah dari area yang lebih panas ke area yang lebih dingin. Proses ini dikenal sebagai konduksi panas karena media pengantar energinya berupa benda padat. Model matematikanya dapat diungkapkan sebagai berikut:

$$Q_{cond} = -k A \frac{\Delta t}{L} \quad (2.1)$$

Dimana:

Q_{cond} = laju perpindahan panas konduksi (W)

- A = luas penampang, (m²)
- Δt = beda temperatur, (K)
- L = panjang benda, (m)
- k = daya hantar (konduktivitas termal) W/m. K.

Daya hantar termal dan laju perpindahan kalor konduktif dipengaruhi oleh struktur molekuler bahan. Kecepatan perpindahan energi meningkat seiring dengan kepadatan susunan molekul, yang cenderung lebih rapat pada bahan-bahan logam dibandingkan dengan bahan-bahan non-logam.

b. Konveksi Panas:

Jika fluida melintasi suatu permukaan padat yang bersuhu tinggi, energi akan ditransfer dari permukaan tersebut ke fluida melalui proses konveksi dan difusi. Perpindahan panas konvektif dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$Q_{conv} = h_c A (t_s - t_f) \tag{2.2}$$

Dimana:

Q_{conv} = laju perpindahan panas konveksi (W)

h_c = koefisien konveksi, W/m². K

t_s = suhu permukaan, K

t_f = suhu fluida, °C.

c. Radiasi Panas:

Perpindahan energi melalui radiasi adalah proses panas yang dipancarkan dari suatu benda ke benda lainnya. Saat mencapai benda tersebut, panas dapat diserap, dipantulkan, dan diteruskan. Untuk radiasi ideal, yang umumnya berkaitan dengan benda hitam, daya pancar E_b dapat diungkapkan sebagai:

$$E_b = \sigma \cdot T^4 \tag{2.3}$$

Dimana:

E_b = daya pancar radiasi, W/m²

σ = koefisien Stefan Boltzman
 $= 5,6703 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

T = suhu absolut, K.

A = luas penampang, m².

2.4.2 Heat Flux

Jumlah panas yang ditransfer selama proses perpindahan panas ditandai dengan Q dan jumlah panas yang ditransfer per satuan waktu disebut laju perpindahan panas dan ditandai dengan \dot{Q} . Notasi titik di atas menunjukkan turunan waktu atau per satuan waktu. Laju perpindahan panas \dot{Q} memiliki satuan J/s yang setara dengan Watt. Ketika laju

perpindahan panas \dot{Q} tersedia, maka jumlah total perpindahan panas Q selama interval waktu Δt dapat ditentukan dari persamaan berikut.

$$Q = \int_0^{\Delta t} \dot{Q} dt \text{ (J)} \quad (2.4)$$

asalkan variasi \dot{Q} terhadap waktu diketahui. Untuk kasus khusus $\dot{Q} = \text{konstan}$, persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi

$$Q = \dot{Q} \Delta t \text{ (J)} \quad (2.5)$$

Laju perpindahan panas per satuan luas tegak lurus terhadap arah perpindahan panas disebut fluks panas, dan fluks panas rata-rata \dot{q} dinyatakan sebagai

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (2.6)$$

dimana A adalah luas permukaan perpindahan panas (Cengel, 2002).

2.3.3 Persamaan Gas Ideal

Hukum gas ideal merupakan suatu konsep dalam bidang fisika yang menggambarkan perilaku gas ideal dalam suatu sistem. Konsep ini menyajikan keterkaitan matematis antara tekanan, volume, suhu, dan jumlah partikel gas dalam suatu sistem tertentu. Hukum gas ideal membuktikan kegunaannya dalam pemodelan dan peramalan sifat-sifat gas pada berbagai kondisi (Walker, 2014). Hukum gas ideal dijelaskan melalui Persamaan Gas Ideal yang dapat ditemukan dalam persamaan berikut:

$$PV = nRT \quad (2.7)$$

Dimana:

P = tekanan gas (Pa)

V = volume gas (m^3)

n = jumlah partikel gas (mol)

R = konstanta gas ideal (8,31 J/mol · K)

T = suhu gas (K)

Hukum gas ideal dengan volume tetap, salah satu dari tiga prinsip dasar dalam termodinamika yang menggambarkan hubungan antara suhu, massa, dan tekanan gas dalam sistem dengan volume yang konstan. Hukum gas ideal dengan volume tetap menyatakan bahwa pada kondisi volume yang tidak berubah, suhu gas akan berbanding terbalik dengan massa gas, namun berbanding lurus dengan tekanan gasnya. Dalam bentuk matematis, prinsip ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{n_1 R T_1}{n_2 R T_2} \quad (2.8)$$

dimana $V_1 = V_2$, maka

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{n_1 T_1}{n_2 T_2} \quad (2.9)$$

atau

$$\frac{P_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2}{n_2 T_2} \quad (2.10)$$

2.3.4 Computational Fluid Dynamics

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah metode penggunaan komputer untuk menghasilkan informasi mengenai perilaku aliran fluida. CFD mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu teknologi, termasuk matematika, ilmu komputer, teknik, dan fisika. Semua disiplin ilmu tersebut digunakan untuk memodelkan atau mensimulasikan aliran fluida. Prinsip dasar CFD adalah metode perhitungan yang spesifik untuk fluida, di mana Operasi 1 dimensi, luas, dan volume dianalisis melalui komputasi komputer untuk melakukan perhitungan pada setiap elemen (Muttaqin & Alfiannoor, 2016). Dalam dunia industri, CFD menjadi pilihan karena meminimalkan waktu dan biaya, mengandalkan perangkat lunak (software), serta memberikan tingkat keakuratan yang mendekati model aslinya, mengingat tidak ada perubahan skala dalam desain dan kesalahan pembuatan model dapat diatasi. Proses simulasi CFD melibatkan tiga langkah utama:

a. *Pre-Processing*

Tahap awal dalam Computational Fluid Dynamics (CFD) melibatkan input data, termasuk penentuan domain dan kondisi batas. Pada tahap ini, dilakukan pembentukan meshing, di mana objek yang dianalisis dibagi menjadi grid-grid tertentu.

b. *Processing*

Langkah selanjutnya adalah tahap proses. Pada tahap ini, dilakukan perhitungan data yang telah dimasukkan menggunakan persamaan terkait secara iteratif hingga diperoleh hasil dengan nilai error terkecil.

c. *Post Processing*

Tahap terakhir adalah post-processing, di mana hasil perhitungan dari tahap processing ditampilkan dalam bentuk gambar, grafik, dan animasi untuk kemudian dianalisis lebih lanjut.

2.3.5 Peraturan Det Norske Veritas Germanischer Lloyd (DNV GL)

Temperatur yang diizinkan dalam Ruang Permesinan sesuai dengan “Rules for Classification for Naval Vessels Det Norske Veritas Germanischer Lloyd Part 4 Chapter 1 Submarines” tidak lebih dari 40 °C. Berikut aturan berdasarkan Det Norske Veritas Germanischer Lloyd mengenai standar *internal climate* di dalam kapal yang dapat dilihat pada gambar berikut (DNV GL, 2015).

2.3 Internal environment

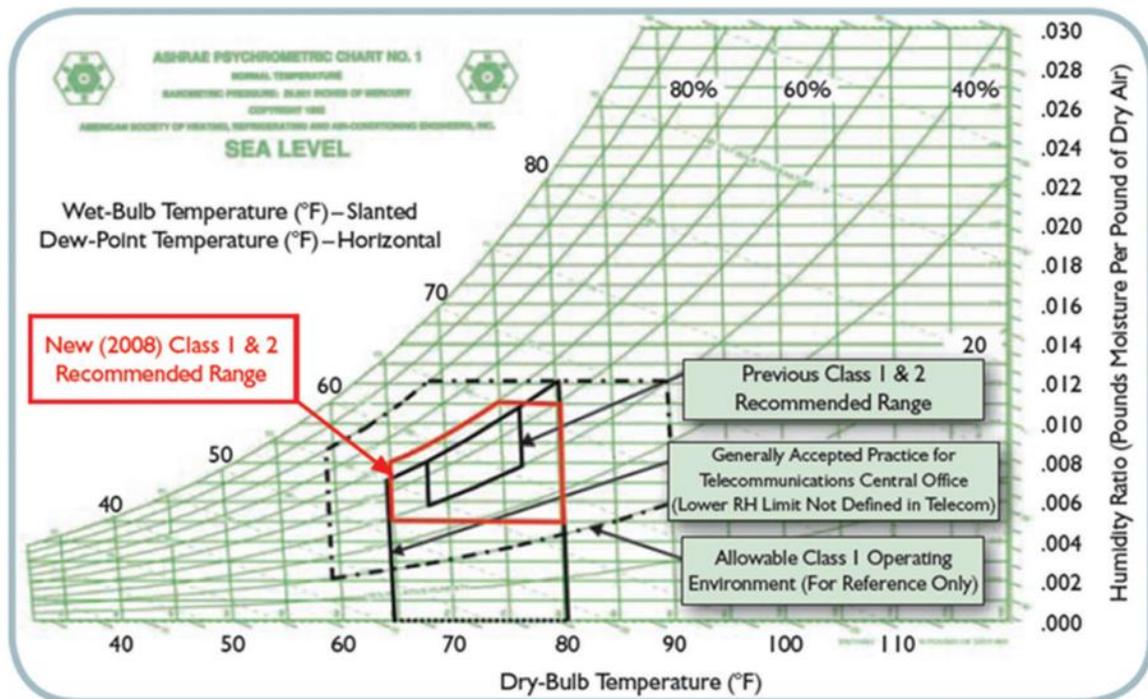
2.3.1 Internal climate

In all spaces, oil and salt-impregnated air ranging in temperature from 0 to 55°C is to be anticipated. Atmospheric humidity may attain 100% in the lower temperature range. Condensation is liable to occur. In specially protected control rooms, a relative atmospheric humidity of 80% at a reference temperature of 40°C shall be assumed.

Gambar 2.2 Peraturan DNV GL Mengenai Temperatur di dalam Kamar Mesin

2.3.6 Batas Kelembaban yang Dianjurkan oleh ASHRAE

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) merekomendasikan kisaran suhu pengoperasian yang dapat diterima antara 18° hingga 27°C (64° hingga 81°C). Untuk lingkungan dengan tingkat korosi tembaga dan perak yang rendah, kisaran suhu yang direkomendasikan adalah antara 18° dan 21°C (64 hingga 69,8°F). ASHRAE menyatakan bahwa tingkat kelembapan atas harus dijaga di bawah 60% RH, mungkin lebih rendah dari 50%.



Gambar 2.3 Pedoman suhu & kelembapan ASHRAE untuk pusat data dan fasilitas telekomunikasi (Hydeman 2010, Hydeman dan Swenson 2010)

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Pendahuluan

Pada bagian ini, akan diuraikan tentang diagram alir beserta penjelasannya yang akan diterapkan selama berlangsungnya penelitian. Bab ini juga akan memberikan informasi terkait bentuk variasi yang akan digunakan dan jumlah simulasi yang direncanakan untuk dilaksanakan.

3.2 Studi Literatur

Tahap berikutnya melibatkan pelaksanaan studi literatur dengan maksud untuk merangkum teori-teori yang menjadi dasar, referensi umum dan khusus, serta memperoleh berbagai informasi tambahan yang relevan dengan proyek ini. Tinjauan pustaka dapat diperoleh melalui sumber-sumber seperti buku, jurnal, artikel, atau internet yang mendukung konteks penelitian ini. Pembahasan yang akan dijelaskan dalam tinjauan literatur ini akan difokuskan pada aspek-aspek berikut:

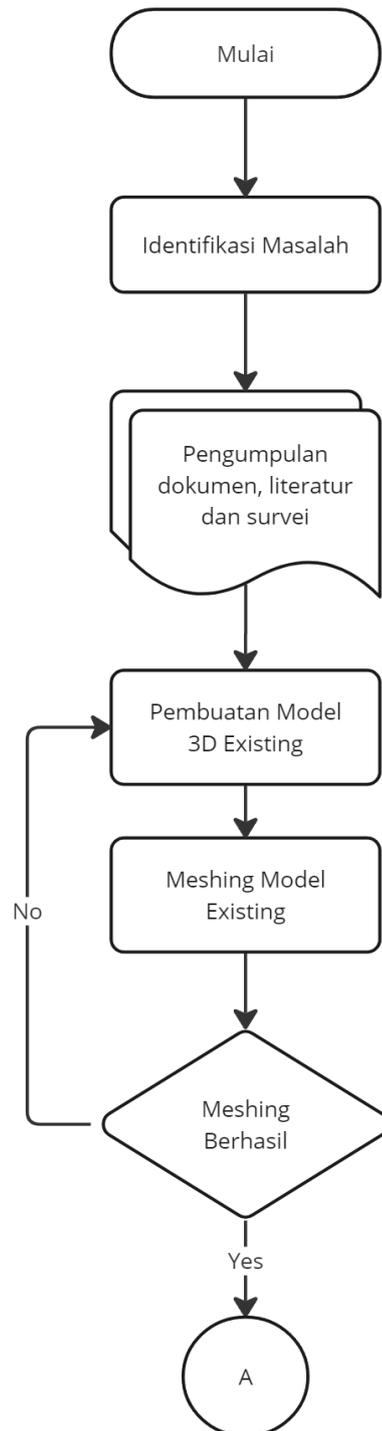
- a. Kebutuhan udara pada *submersible vehicle*
- b. Standard kelembaban pada peralatan elektronik
- c. Transfer panas melalui emisi
- d. Computational Fluid Dynamics (CFD)

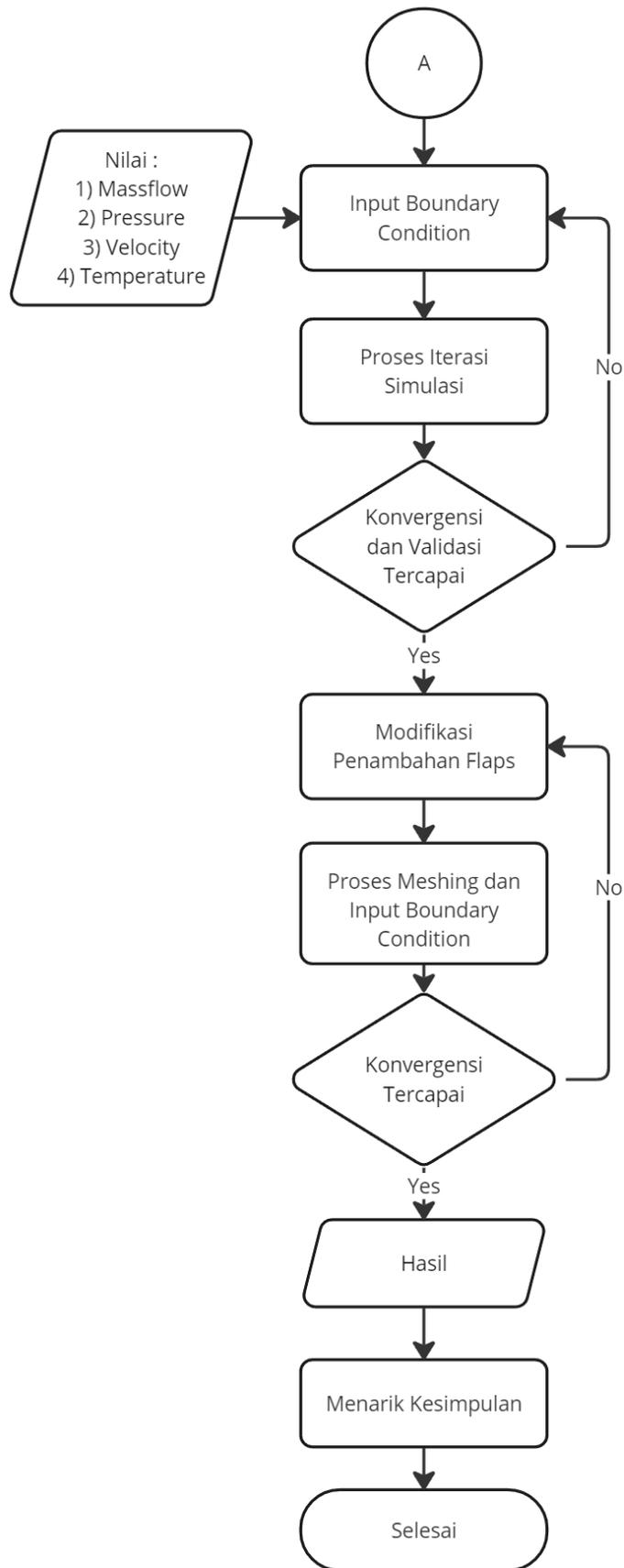
Pembahasan ini bertujuan untuk memperkuat landasan penelitian ini dan dapat diperkaya dengan melakukan dialog dan tanya jawab dengan pihak yang memiliki pengetahuan dan kepentingan terkait dalam diskusi ini.

3.3 Identifikasi Masalah

Dalam tahapan ini, dilakukan pengidentifikasian dan perumusan suatu permasalahan, yaitu terkait optimalisasi kebutuhan udara pada kamar mesin menggunakan metode Computational Fluid Dynamics (CFD). Variabel yang akan diubah-ubah adalah kapasitas dan suhu udara yang mengalir ke dalam kamar mesin.

3.4 Diagram Alir Penelitian





3.5 Desain Penelitian

Desain penelitian ini mencakup beberapa tahap penting yang saling berkaitan, dimulai dari tahap persiapan yang melibatkan identifikasi tujuan penelitian dan perumusan hipotesis. Selanjutnya, tahap pengumpulan data dilakukan untuk mengumpulkan informasi dan parameter yang diperlukan melalui berbagai metode seperti eksperimen lapangan dan studi literatur. Setelah data terkumpul, pembuatan model 3D dari objek penelitian dilakukan menggunakan perangkat lunak desain yang sesuai. Model 3D ini kemudian digunakan dalam tahap simulasi model, di mana berbagai skenario diuji untuk melihat bagaimana sistem berperilaku di bawah kondisi yang berbeda. Hasil dari simulasi ini kemudian divalidasi untuk memastikan akurasi dan keandalannya. Setelah validasi, analisa data dilakukan untuk menginterpretasikan hasil simulasi, yang kemudian dibahas secara mendalam untuk menarik kesimpulan yang bermakna. Tahap akhir dari penelitian ini adalah penyusunan kesimpulan dan saran, yang merangkum temuan utama serta memberikan rekomendasi untuk penelitian lebih lanjut atau implementasi praktis dari hasil penelitian.

3.5.1 Tahap Persiapan

Dalam langkah ini, prinsip-prinsip, landasan teori, dan data diperoleh melalui tinjauan literatur serta pendekatan yang berkaitan dengan dasar sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) dari buku teks yang akan dijadikan bahan kajian. Persiapan ini juga mencakup penelaahan referensi dari artikel atau jurnal penelitian terkait sebagai bagian dari pengembangan pemahaman yang komprehensif.

3.5.2 Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh dari laporan pengujian, pengambilan data melalui dokumen, dan survey lapangan. Kebutuhan data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah seperti berikut.

- a. General Arrangement, berupa letak peralatan permesinan kapal yang menghasilkan panas serta dimensinya, letak dan bentuk ducting, dan bentuk badan *submersible vehicle*.
- b. Alur aliran udara yang masuk ke kamar mesin *submersible vehicle*
- c. Pengukuran peralatan pada *submersible vehicle*
- d. Pengukuran kecepatan dan temperature udara yang masuk ke sistem ventilasi, termasuk spesifikasi fan pada sistem ventilasi



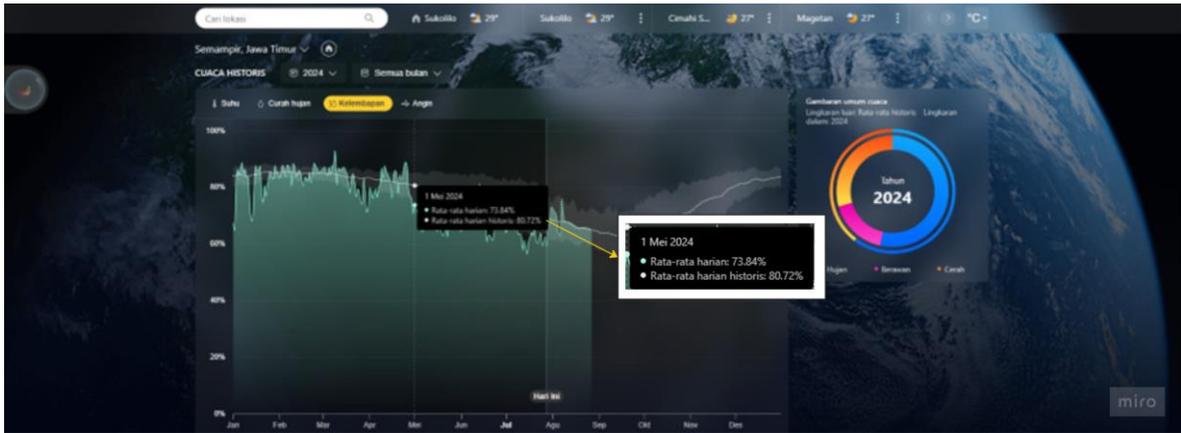
Gambar 3.1 Alat yang dipakai a) Anemometer b) Meteran c) Pistol Suhu d) Hygrometer

Pengambilan data lapangan dilakukan dengan menggunakan berbagai alat yang dirancang khusus untuk mengukur parameter penting. Alat-alat ini meliputi pengukur panjang untuk menentukan dimensi fisik, termometer untuk mengukur suhu lingkungan, anemometer untuk mengukur kecepatan udara, dan hygrometer untuk mengukur kelembaban udara di lokasi penelitian.

Pengambilan data juga dilakukan melalui data dari website msn.com. Data yang diambil pada website ini adalah data suhu dan kelembaban di daerah penelitian. Data cuaca ini diambil pada tanggal saat penelitian.

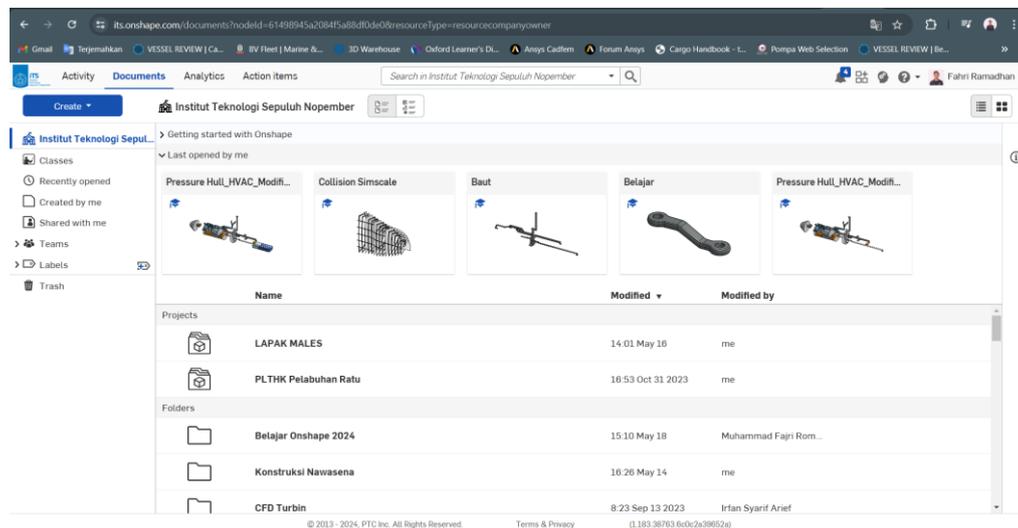


Gambar 3.2 Data suhu lingkungan



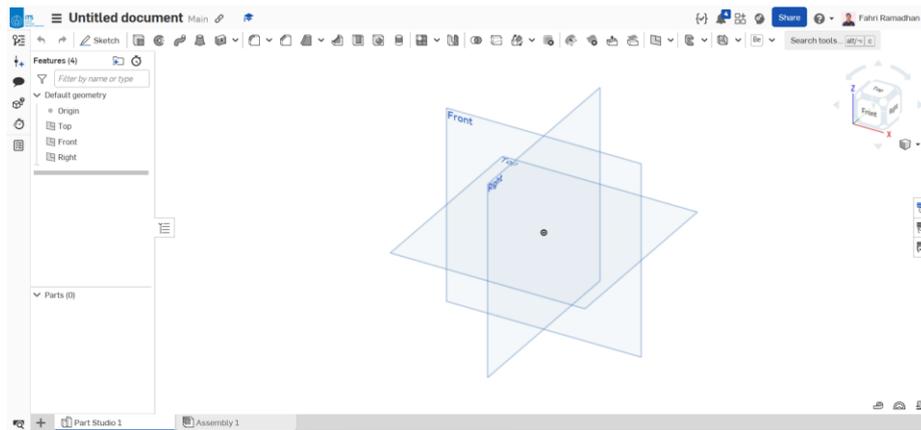
Gambar 3.3 Data kelembaban lingkungan

3.5.3 Pembuatan Model 3D



Gambar 3.4 Tampilan Awal OnShape

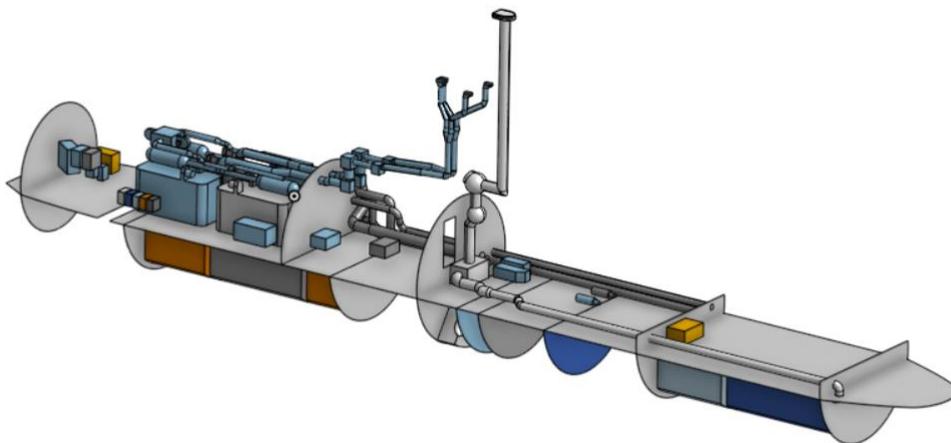
Pemodelan *submersible vehicle* dilakukan menggunakan platform Computer-Aided Design (CAD) berbasis browser yang dikenal dengan nama OnShape. OnShape adalah perangkat lunak CAD canggih yang memungkinkan kolaborasi real-time, aksesibilitas yang mudah, dan fitur-fitur desain yang komprehensif. Saat pertama kali membuka Onshape, maka akan disambut oleh beberapa elemen utama yang membentuk tampilan awal platform ini seperti gambar 3.1. Dashboard berfungsi sebagai area utama untuk menyimpan dan mengelola semua proyek dan file CAD, dilengkapi dengan tombol untuk membuat dokumen baru serta daftar dokumen terbaru yang telah diakses atau dimodifikasi. Navigation Bar menyediakan akses cepat ke beranda (home), proyek, dan tim untuk memfasilitasi kolaborasi.



Gambar 3.5 Tampilan *Part Studio* Awal OnShape

Setiap dokumen dalam Onshape terdiri dari beberapa tab, termasuk Part Studio, Assembly, dan Drawing, yang memungkinkan pengguna untuk mengakses berbagai aspek model. Fitur toolbar di dalam dokumen menyediakan alat untuk pembuatan dan pengeditan model 3D, sementara feature tree menampilkan urutan fitur yang telah dibuat. OnShape memungkinkan pemodel untuk membuat komponen individual yang kemudian dapat dirakit menjadi model utuh. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan berbagai fitur seperti extrude, revolve, loft, dan sweep untuk menciptakan bentuk yang kompleks.

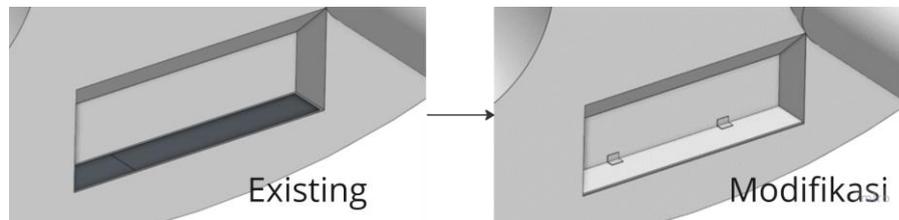
a. Pembuatan Model 3D *Existing*



Gambar 3.6 Pemodelan 3D

Model *submersible vehicle* yang dibuat mencakup komponen-komponen beserta ducting yang disesuaikan dengan data utama *submersible vehicle*, General Arrangement (GA), dan hasil survei yang telah dilakukan. Data utama tersebut mencakup dimensi pressure hull, dimensi setiap ducting intake ventilation system, dimensi engine, baterai, dan equipment yang ada pada kamar mesin.

b. Pembuatan Model 3D Penambahan Flaps



Gambar 3.7 Modifikasi Penambahan Flaps

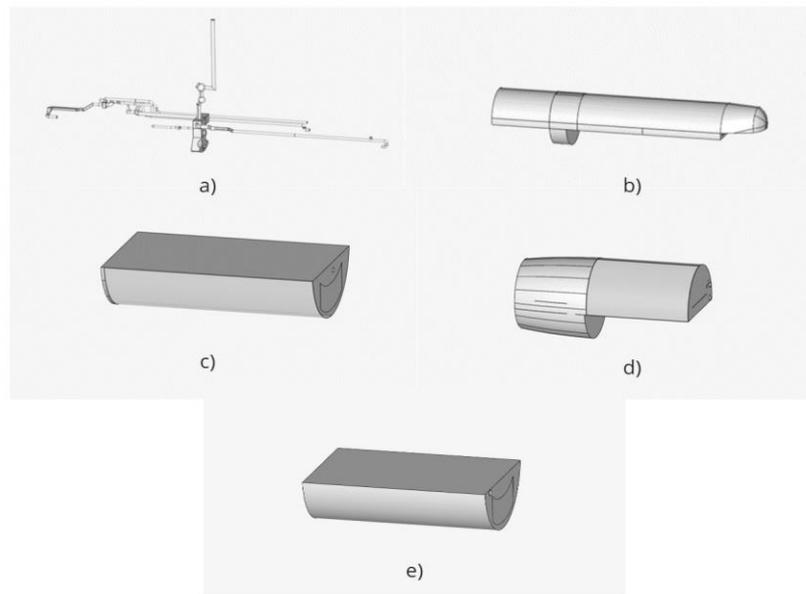
Lubang drain pada snorkel tank dapat dilihat pada gambar 3.2 selalu dalam keadaan terbuka sehingga snorkel tank yang seharusnya bebas dari udara yang lembab dapat terkontaminasi oleh butiran – butiran air. Hal ini sangat berbahaya karena udara yang berada di dalam snorkel tank akan disalurkan ke dalam ruang baterai. Jika ruang baterai ini terkontaminasi oleh air maka dapat menyebabkan ledakan karena reaksi baterai dengan air. Oleh karena itu dilakukan penambahan flaps pada lubang drain yang dapat terlihat pada gambar 3.2.

3.5.4 Simulasi Model

Setelah membuat model, langkah berikutnya adalah menguji atau menjalankan model menggunakan perangkat lunak komputasi. Pengujian model dilakukan untuk mengevaluasi aliran massa di outlet, komponen pembangkit panas, dan variasi kecepatan aliran inlet. Simulasi ini menggunakan SimScale. Pengujian pada model eksisting bertujuan untuk mensimulasikan model 3D yang telah sebelumnya dibuat dan diharapkan menghasilkan kondisi serupa dengan kondisi sebenarnya di *submersible vehicle*. Selanjutnya, dilakukan modifikasi pada ducting sesuai dengan variasi yang telah ditetapkan, dengan tujuan memenuhi kebutuhan udara pada kamar mesin. Berikut adalah langkah-langkah untuk mensimulasikan model tersebut :

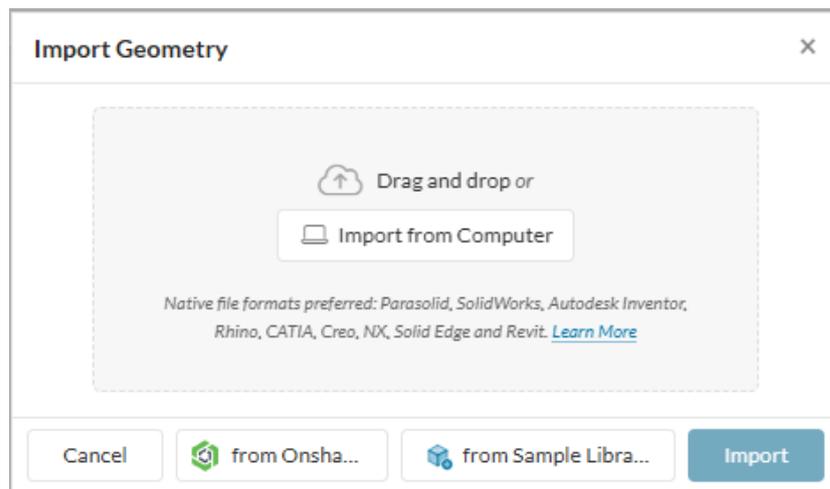
a. Persiapan Model Simulasi

Berdasarkan model simulasi yang telah dibuat pada tahap sebelumnya, perlu ditentukan domain model yang mewakili fluida dalam ducting ventilasi dan fluida dalam setiap kompartemen yang akan dianalisis menggunakan perangkat lunak SimScale. Dalam proses pembuatan domain fluida, model dibagi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil sesuai dengan pembagian ruang pada *submersible vehicle* untuk mempermudah dan meringankan proses meshing.



miro

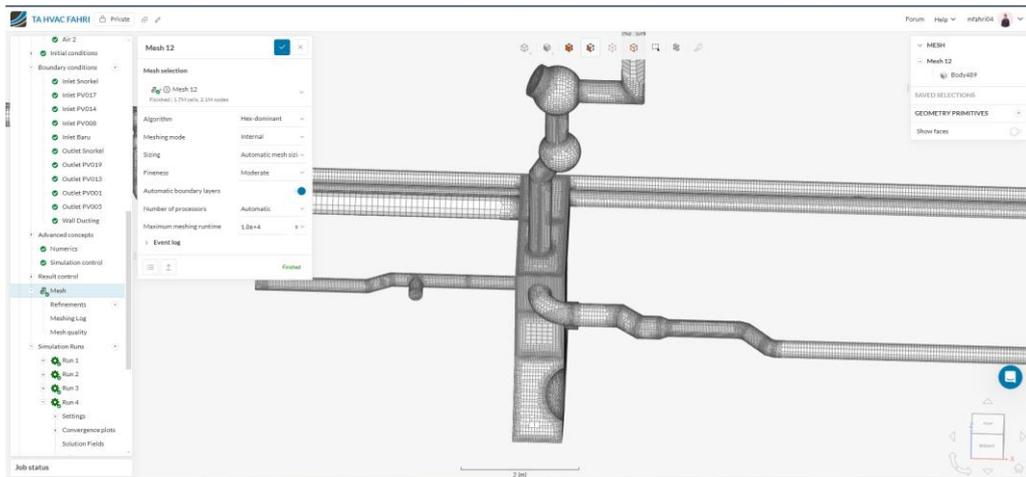
Gambar 3.8 Domain Untuk Simulasi



Gambar 3.9 Domain Untuk Simulasi

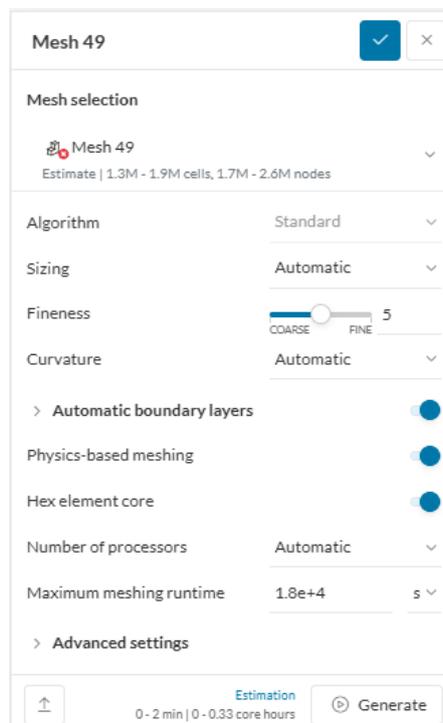
Untuk mengimpor geometri ke dalam SimScale, pertama-tama buka proyek yang ingin ditambahkan geometri. Setelah masuk ke Workbench proyek, klik tombol "Import Geometry" di panel kiri. Anda dapat memilih file dari OnShape atau dari komputer dengan format yang didukung seperti STEP, IGES, STL, atau Parasolid. Setelah memilih file, klik "Upload" dan tunggu hingga proses unggah selesai. Geometri yang diimpor akan muncul dalam daftar dan siap digunakan untuk simulasi lebih lanjut.

b. Tahap *Meshing*



Gambar 3.10 Mesh di Simscale

Proses meshing adalah langkah untuk mengubah domain fluida atau ruang fluida menjadi ruangan yang terdiri dari potongan kubus kecil dengan berbagai bentuk. Kubus-kubus ini kemudian berisi rumus Navier-Stokes untuk mendapatkan nilai tekanan yang mengalir atau berpindah dari satu kubus ke kubus di sekitarnya. Nilai tekanan tersebut kemudian diubah menjadi nilai lainnya, seperti gaya, torsi, panas, gerakan, dan sebagainya.



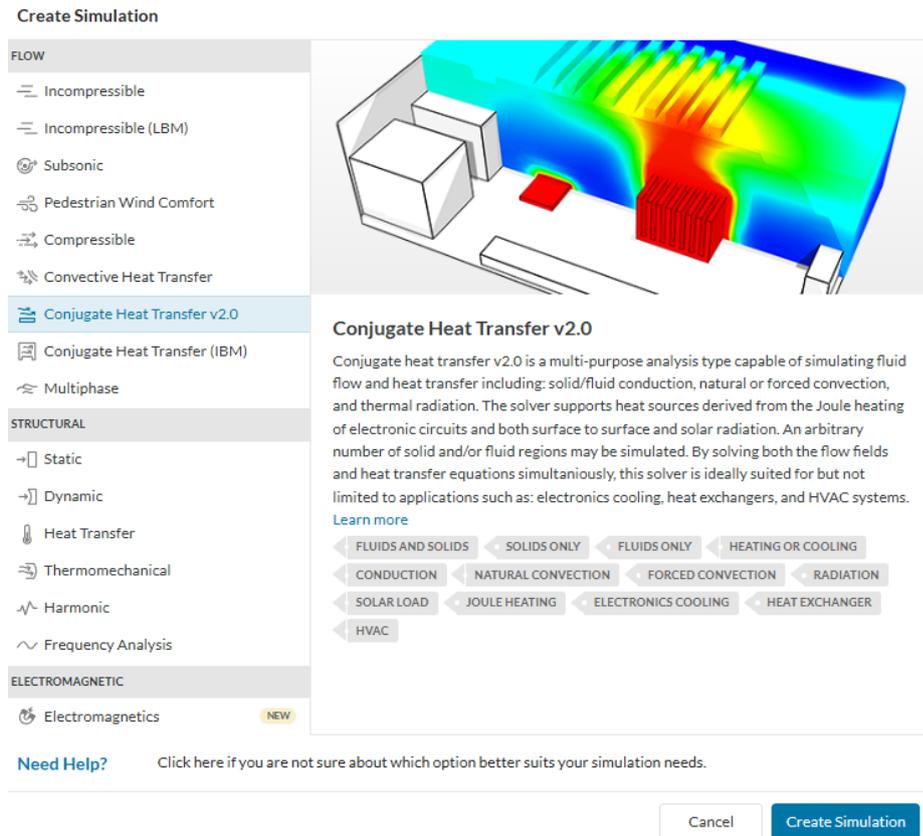
Gambar 3.11 Tampilan pengaturan mesh

Tabel 3.1 Maximum & Rekomendasi Kualitas *Meshing*

Mesh Quality Metric	Maximum, CFD	Recommended, CFD	Model
Aspect Ratio	30	10	3.378
NonOrthogonality	88	60	60.616
tetEdgeRatio	20	10	7.133
volumeRatio	80	10	6.254
Skewness	10	0-10	1.093

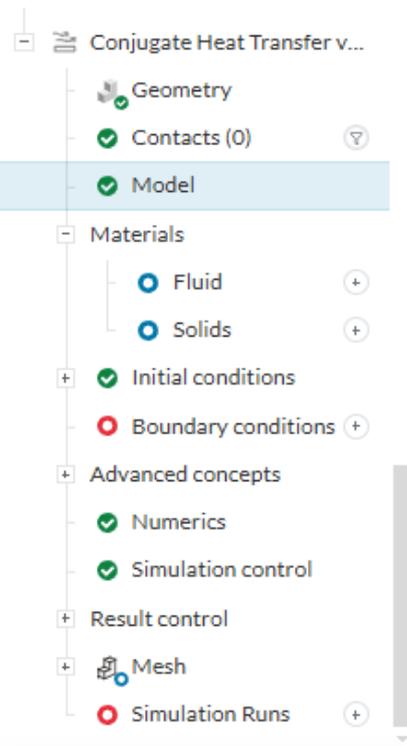
b. *Set Up Boundary Condition*

Pada tahap ini, persiapan simulasi dilakukan dengan mengaktifkan model yang diperlukan dan mendefinisikan batas-batas domain. Setiap kondisi pada model diatur untuk mencerminkan kondisi nyata di lapangan. Pengaturan yang dilakukan meliputi suhu permukaan setiap peralatan, kecepatan aliran udara masuk, suhu udara masuk, dan karakteristik udara yang masuk. Selain itu, pengaturan metode simulasi juga dilakukan pada tahap ini, termasuk menentukan jumlah iterasi yang akan dijalankan dalam simulasi. Proses ini memastikan bahwa semua variabel dan parameter sesuai dengan kondisi operasional yang sebenarnya, sehingga hasil simulasi dapat memberikan gambaran yang akurat.



Gambar 3.12 Tampilan Pemilihan Simulasi

Pada tahap membuat simulasi pilih *conjugate heat transfer v2.0* karena dapat memperhitungkan kelembaban. Transfer panas konjugat v2.0 adalah jenis analisis serbaguna yang mampu mensimulasikan aliran fluida dan transfer panas, termasuk: konduksi padat/cair, konveksi alami atau paksa, dan radiasi termal. Solver ini mendukung sumber panas yang berasal dari pemanasan Joule pada sirkuit elektronik serta radiasi permukaan ke permukaan dan radiasi matahari. Sebuah jumlah wilayah padat dan/atau fluida yang tidak terbatas dapat disimulasikan. Dengan memecahkan persamaan medan aliran dan transfer panas secara bersamaan, solver ini sangat cocok untuk, tetapi tidak terbatas pada, aplikasi seperti pendinginan elektronik, penukar panas, dan sistem HVAC.

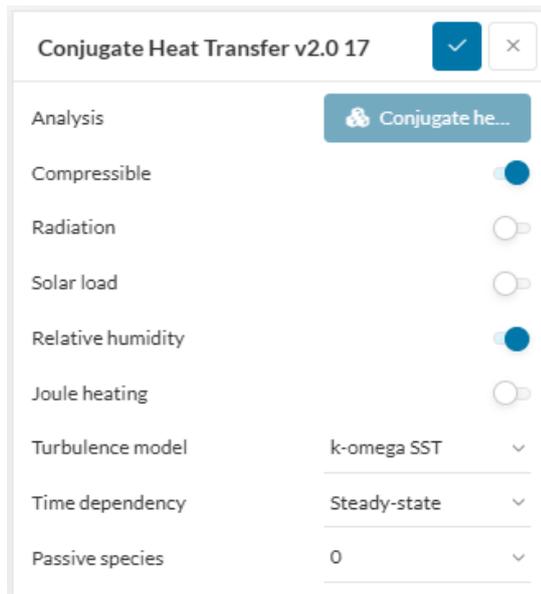


Gambar 3.13 Tampilan Menu Kerja pada Simscale

Gambar ini menunjukkan tampilan antarmuka dari perangkat lunak SimScale, khususnya untuk pengaturan simulasi Conjugate Heat Transfer (CHT). Pada bagian atas, terdapat judul proyek simulasi yang sedang dikerjakan, menunjukkan bahwa jenis analisis yang dipilih adalah Conjugate Heat Transfer. Bagian Geometry menunjukkan bahwa geometri yang digunakan untuk simulasi telah berhasil dimuat dan valid, ditandai dengan tanda centang hijau. Contacts (0) menandakan bahwa tidak ada kontak yang didefinisikan antara bagian-bagian geometri. Bagian Model menunjukkan bahwa model telah diatur dengan benar, juga ditandai dengan centang hijau.

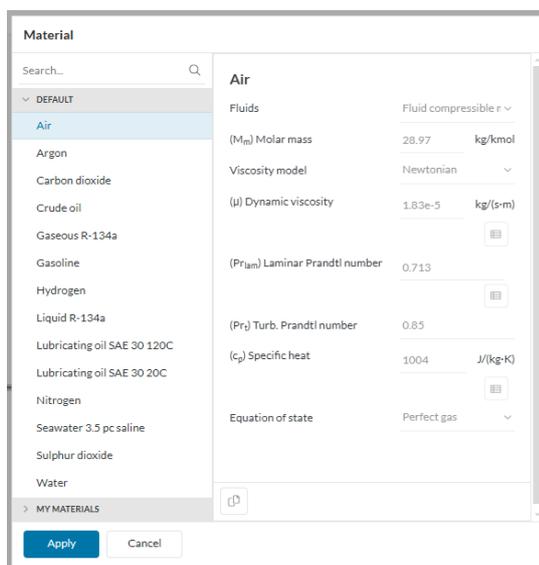
Di bawahnya, bagian Materials terbagi menjadi dua subbagian: Fluid dan Solids. Kedua subbagian ini memiliki tanda plus (+) yang menunjukkan bahwa pengguna dapat menambahkan material fluida dan padat yang diperlukan untuk simulasi. Bagian Initial Conditions dan Boundary Conditions menunjukkan bahwa kondisi awal dan kondisi batas telah diatur dengan benar, masing-masing ditandai dengan centang hijau. Kondisi awal meliputi pengaturan seperti suhu awal dan kecepatan awal, sedangkan kondisi batas digunakan untuk menentukan bagaimana model berinteraksi dengan lingkungannya.

Selanjutnya, terdapat bagian Advanced Concepts yang mencakup Numerics dan Simulation Control. Numerics mengatur skema numerik yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan, sedangkan Simulation Control mengatur Operasi 1 simulasi seperti waktu simulasi dan jumlah iterasi. Kedua subbagian ini dapat diakses dengan mengklik tanda plus (+).

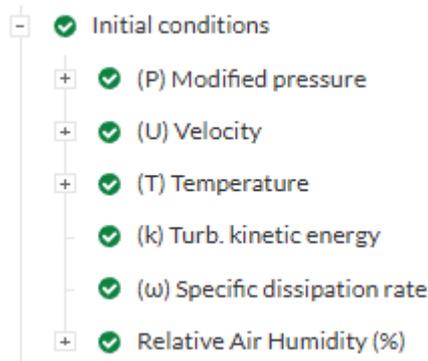


Gambar 3.14 Tampilan Pengaturan Simulasi Awal

Gambar ini menunjukkan pengaturan untuk analisis Conjugate Heat Transfer v2.0 pada SimScale. Dalam pengaturan ini, aliran fluida dianggap dapat dimampatkan (compressible), yang memperhitungkan perubahan densitas fluida akibat tekanan dan suhu. Radiasi termal dan beban panas dari sinar matahari tidak dimasukkan dalam analisis, karena opsi radiasi dan solar load dinonaktifkan. Kelembaban relatif dimasukkan dalam analisis, terlihat dari opsi relative humidity yang diaktifkan. Pemanasan Joule, yaitu panas yang dihasilkan oleh arus listrik dalam konduktor, tidak dimasukkan dalam analisis, seperti yang ditunjukkan oleh opsi joule heating yang dinonaktifkan. Model turbulensi yang digunakan adalah k-omega SST, yang merupakan model umum untuk memprediksi aliran turbulen. Analisis dilakukan dalam kondisi steady-state (kondisi mantap), yang berarti solusi dicari untuk keadaan yang tidak berubah seiring waktu. Tidak ada spesies pasif yang dilacak dalam analisis ini, yang ditunjukkan oleh nilai 0 pada pengaturan passive species.

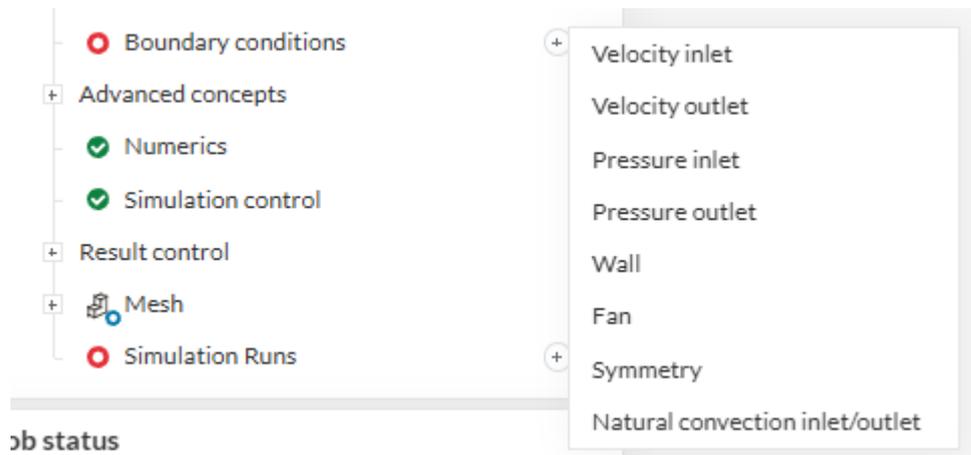


Gambar 3.15 Tampilan Pemilihan Material



Gambar 3.16 Tampilan Pemilihan *Initial Condition*

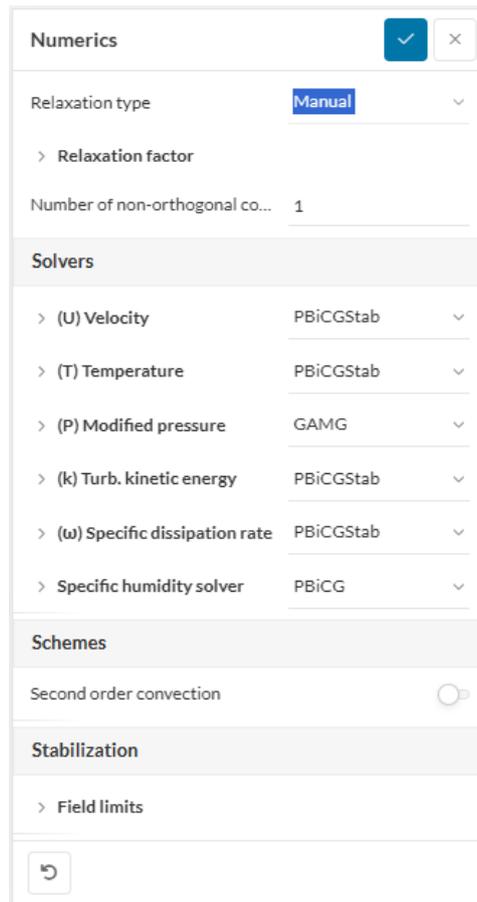
Dalam simulasi perpindahan panas konjugat, domain komputasi akan diselesaikan untuk tiga bidang: tekanan, kecepatan, dan suhu. Tekanan yang dimaksud adalah tekanan yang telah dimodifikasi dan hanya menggunakan nilai absolut. Kuantitas transportasi turbulen tambahan mungkin termasuk berdasarkan model turbulensi yang dipilih. Di bawah kondisi awal, nilai-nilai ini dapat diinisialisasi untuk seluruh domain atau sub-domain untuk setiap wilayah.



Gambar 3.17 Tampilan Boundary Condition

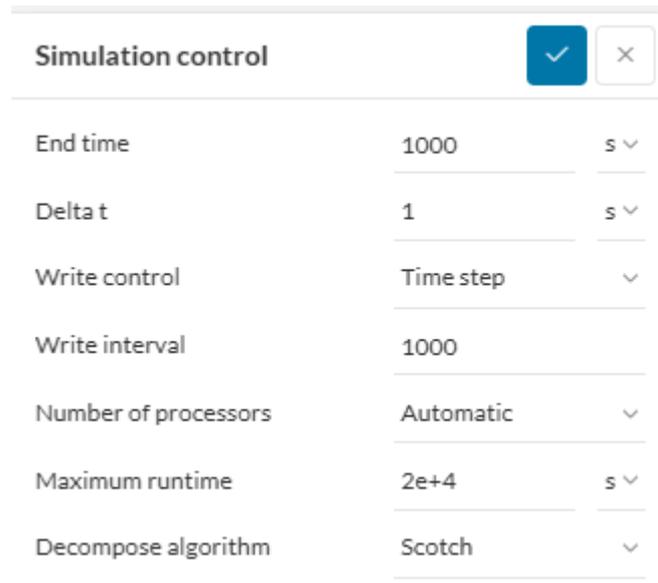
Kondisi batas membantu menyelesaikan masalah dengan menentukan bagaimana sebuah sistem berinteraksi dengan lingkungan. Daftar rinci dari kondisi batas yang tersedia ini mengarah ke halaman khusus yang menjelaskan pentingnya masing-masing dan bagaimana penerapannya pada batas-batas domain.

c. Tahap Solusi



Gambar 3.18 Tampilan *Numerical Setting*

Pada tahap ini, *solver* melakukan eksekusi persamaan-persamaan yang dilibatkan dalam simulasi CFD dan akan dihitung secara iteratif hingga perhitungan mencapai kondisi konvergen. Kondisi yang konvergen merupakan kondisi dimana perhitungan yang dilakukan secara iteratif menghasilkan nilai yang tidak jauh beda dari hasil perhitungan pada iterasi sebelumnya. Sehingga semakin stabil nilai yang dihasilkan setiap iterasi, maka hasilnya akan mencapai konvergen. Tingkat akurasi dari *solver* ditentukan oleh keakuratan kondisi batas serta kualitas dari mesh yang diatur sebelumnya. Selain itu, pada tahap ini juga dapat melakukan pemilihan data yang akan dikalkulasikan sesuai kebutuhan data yang diinginkan.



Gambar 3.19 Tampilan Kontrol Simulasi

d. Tahap Post-Processing

Pada tahap ini, akan diperoleh hasil dari simulasi CFD yang telah dilakukan oleh solver. Hasil simulasi ini berupa data hasil perhitungan oleh solver yang bisa disajikan dalam bentuk nilai, garis, kontur, arah, animasi atau lainnya yang dapat diplot pada *software* sesuai dengan hasil yang dibutuhkan. Ketersediaan data simulasi ini sesuai dengan pemilihan data yang akan dikalkulasi pada tahap solusi sebelumnya.

3.6 Validasi Simulasi

Validasi dilakukan untuk mengetahui apakah simulasi tersebut sesuai dengan tujuan penelitian tugas akhir ini, yaitu simulasi sistem ventilasi awal sesuai dengan data hasil penelitian lapangan yang telah dilakukan. Batas maksimum error dari validasi ini adalah 5%.

3.7 Analisa Data dan Pembahasan

Setelah simulasi pada CFD selesai, selanjutnya adalah Analisa data dan pembahasan yaitu membandingkan data yang sudah didapat dari pengujian model dengan data hasil perhitungan dan setiap model saling berkaitan satu sama lainnya.

3.8 Kesimpulan dan Saran

Langkah berikutnya adalah menarik kesimpulan dari Analisa data yang sudah dilakukan serta memberikan saran dan rekomendasi yang relevan sebagai pertimbangan untuk penelitian selanjutnya dan pertimbangan dalam mendesain ducting di *submersible vehicle*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

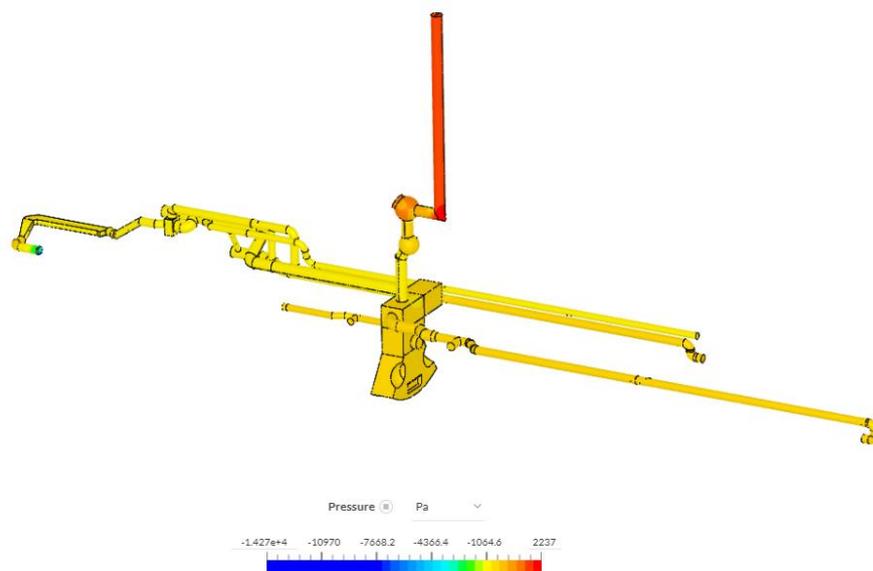
Hasil penelitian ini didasarkan pada hasil dari simulasi domain yang telah dilakukan secara menyeluruh. Melalui simulasi tersebut, berbagai data penting telah diperoleh, memberikan gambaran mendalam mengenai perilaku sistem yang diteliti dalam berbagai kondisi sebelum dimodifikasi maupun setelah dimodifikasi. Setiap parameter yang dianalisis, mulai dari tekanan, suhu, kelembaban, hingga kecepatan aliran udara.

4.1.1 Hasil Simulasi Pada Ducting *Submersible Vehicle*

Hasil simulasi pada ducting submersible vehicle menyajikan hasil dari beberapa parameter penting seperti tekanan, kelembaban, kecepatan udara, dan suhu, baik sebelum maupun setelah dilakukan modifikasi. Data yang diperoleh dari simulasi ini menunjukkan bagaimana setiap parameter berubah akibat dari modifikasi yang dilakukan. Sebelum modifikasi, tekanan, kelembaban, kecepatan udara, dan suhu memiliki nilai tertentu yang mencerminkan kondisi awal sistem. Setelah dilakukan modifikasi, nilai-nilai dari parameter tersebut mengalami perubahan yang signifikan, menunjukkan efektivitas dari modifikasi yang diterapkan.

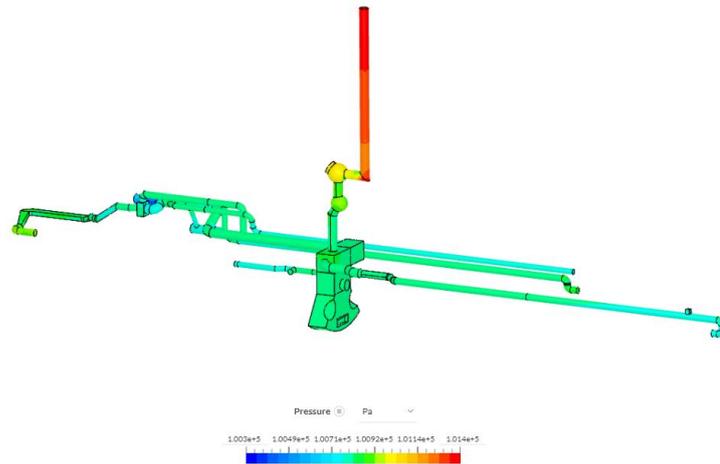
4.1.1.1 Hasil Simulasi Tekanan Pada Ducting *Submersible Vehicle*

Simulasi tekanan pada ducting submersible vehicle adalah proses analisis yang krusial untuk memastikan bahwa sistem ventilasi dan aliran udara berfungsi dengan optimal sesuai dengan kondisi operasi yang diharapkan.



Gambar 4.1 Tekanan Pada Ducting Kondisi Awal

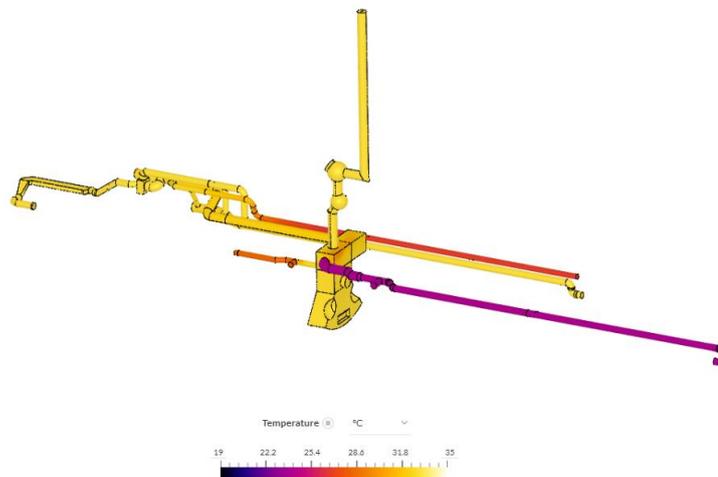
Gambar 4.1 menyajikan data rata-rata tekanan udara (dalam Pascal) di berbagai area observasi pada sistem HVAC ducting. Dari gambar ini, terlihat bahwa tekanan di Snorkel Flap adalah 101097,6 Pa. Katup-07 memiliki tekanan rata-rata sebesar 100732,7 Pa, sementara Katup-06 mencatat tekanan sebesar 100990,6 Pa. Katup-05 menunjukkan tekanan rata-rata sebesar 101070,7 Pa, dan Katup-01 memiliki tekanan rata-rata sebesar 101064,3 Pa.



Gambar 4.2 Tekanan Pada Ducting Kondisi Modifikasi

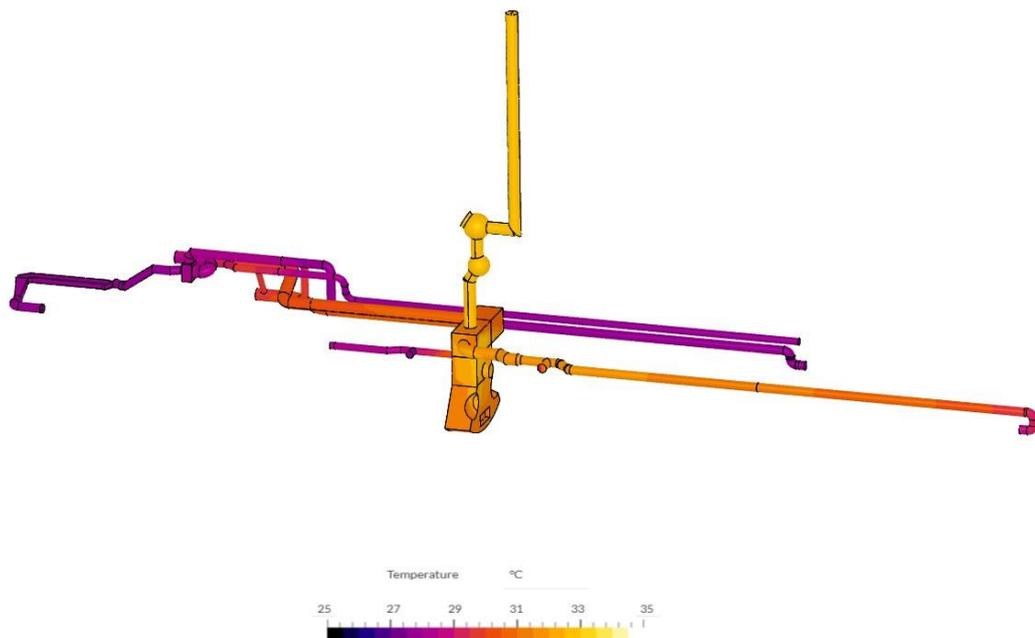
Gambar 4.2 menyajikan data rata-rata tekanan udara (dalam Pascal) di berbagai area observasi pada sistem HVAC. Dari gambar ini, terlihat bahwa tekanan di Snorkel Flap adalah 100506,0 Pa. Katup-07 memiliki tekanan rata-rata sebesar 100506,0 Pa, sementara Katup-06 mencatat tekanan sebesar 100698,0 Pa. Katup-05 menunjukkan tekanan rata-rata sebesar 100695,0 Pa, dan Katup-01 memiliki tekanan rata-rata sebesar 100678,5 Pa.

4.1.1.2 Hasil Simulasi Suhu Pada Ducting *Submersible Vehicle*



Gambar 4.3 Suhu Pada Ducting Kondisi Awal

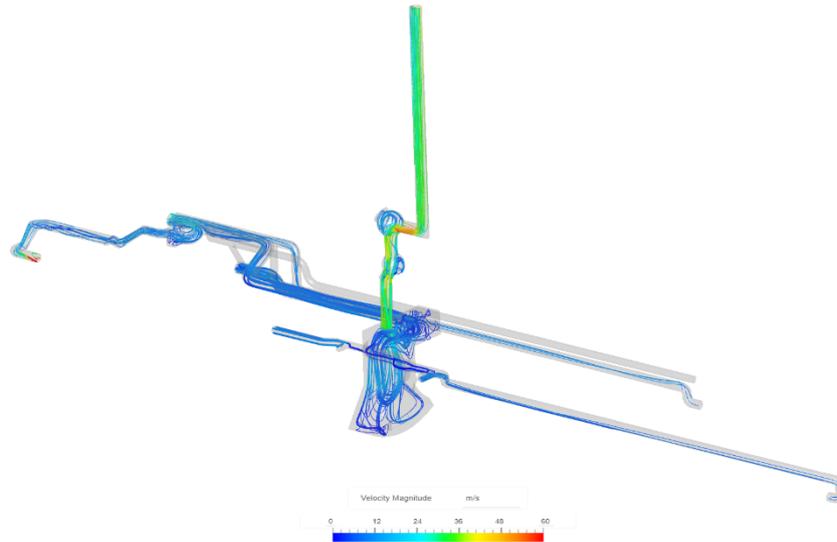
Gambar 4.3 menyajikan data rata-rata suhu (dalam derajat Celsius) di berbagai area observasi pada sistem ventilasi sebelum dimodifikasi. Dari gambar ini, terlihat bahwa suhu di Snorkel Flap adalah $32,86^{\circ}\text{C}$. Katup-07 memiliki suhu rata-rata sebesar $32,73^{\circ}\text{C}$, sementara Katup-06 mencatat suhu sebesar $32,56^{\circ}\text{C}$. Katup-05 menunjukkan suhu rata-rata terendah di antara area yang diamati, yaitu $28,26^{\circ}\text{C}$, sedangkan Katup-01 memiliki suhu rata-rata sebesar 24°C .



Gambar 4.4 Suhu Pada Ducting Kondisi Modifikasi

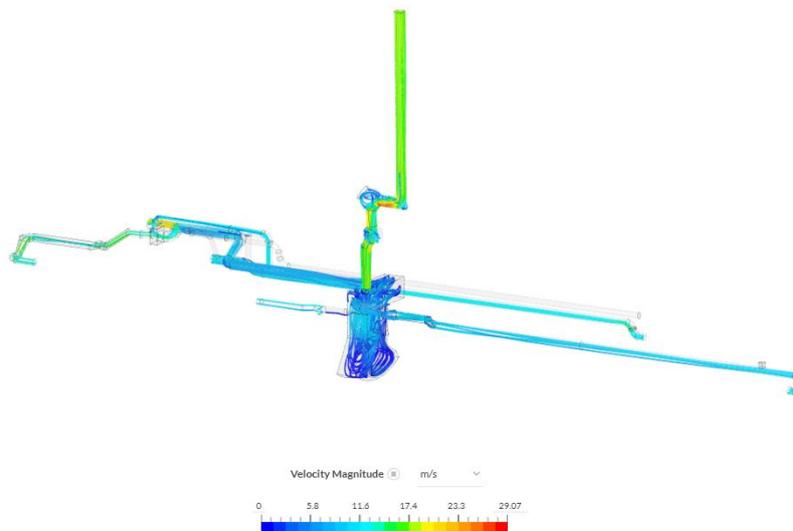
Gambar 4.4 menyajikan data rata-rata suhu (dalam derajat Celsius) di berbagai katup pada area snorkel flap. Dari gambar ini, terlihat bahwa Katup-07 memiliki rata-rata suhu sebesar $29,59^{\circ}\text{C}$. Katup-06 mencatat rata-rata suhu tertinggi di antara katup yang diamati, yaitu sebesar $32,88^{\circ}\text{C}$. Sementara itu, Katup-05 menunjukkan rata-rata suhu terendah, yaitu $28,08^{\circ}\text{C}$. Katup-01 memiliki rata-rata suhu sebesar $31,18^{\circ}\text{C}$.

4.1.1.3 Hasil Simulasi Distribusi Udara Pada Ducting *Submersible Vehicle*



Gambar 4.5 Distribusi Udara Pada Ducting Kondisi Awal

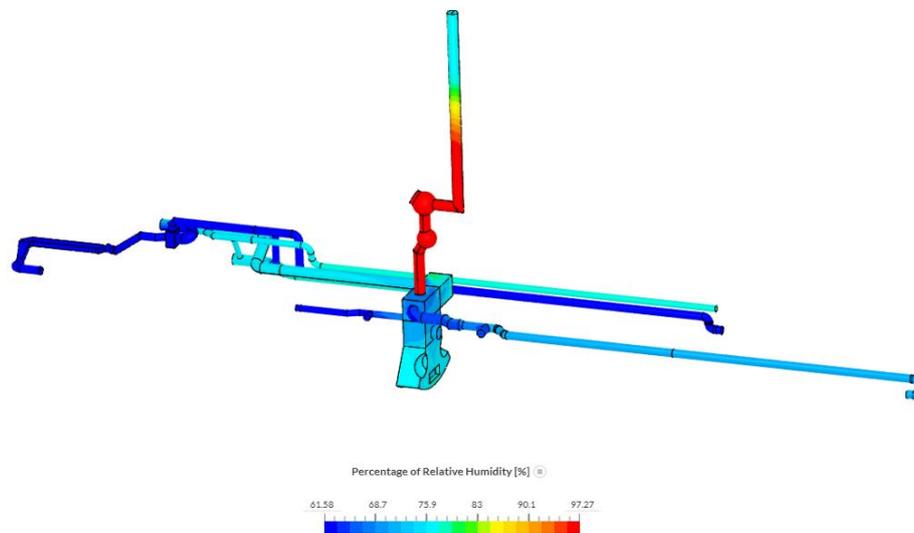
Gambar 4.5 menyajikan data rata-rata kecepatan aliran udara (dalam meter per detik) di berbagai area observasi pada sistem ventilasi sebelum dimodifikasi. Dari gambar ini, terlihat bahwa kecepatan aliran udara di Snorkel Flap adalah 10,6 m/s. Katup-07 memiliki kecepatan aliran tertinggi di antara area yang diamati, yaitu 15,55 m/s. Katup-06 mencatat kecepatan aliran sebesar 7,982 m/s, sementara Katup-05 menunjukkan kecepatan aliran sebesar 8,274 m/s. Katup-01 memiliki kecepatan aliran terendah di antara katup yang diamati, yaitu 5,629 m/s.



Gambar 4.6 Distribusi Udara Pada Ducting Kondisi Modifikasi

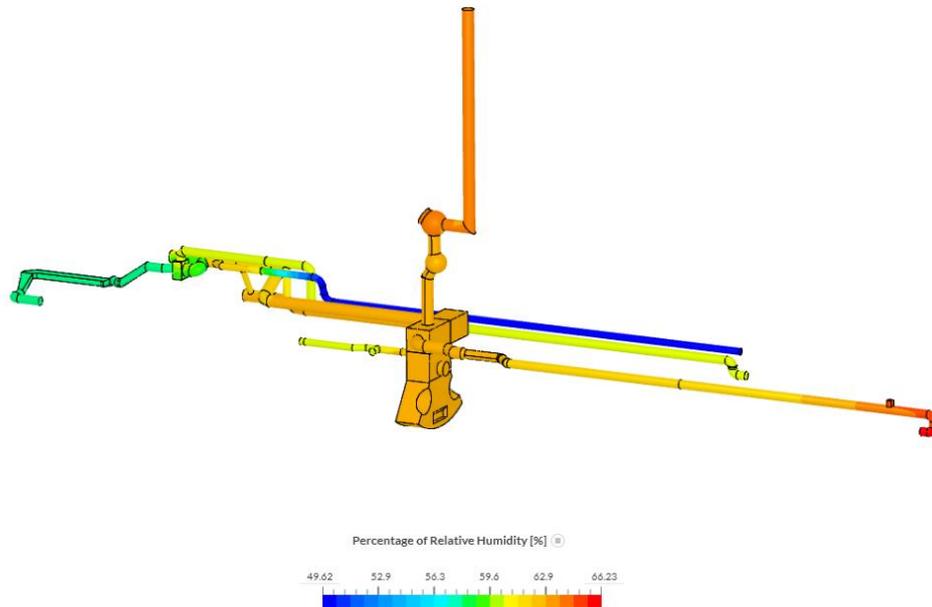
Gambar 4.6 memberikan gambaran tentang distribusi suhu di berbagai titik dalam sistem yang diamati, yang dapat berguna untuk analisis termal dan pengoptimalan kinerja sistem. Gambar tersebut menunjukkan hasil observasi rata-rata kecepatan aliran udara (dalam meter per detik) di berbagai katup pada area snorkel flap. Pada gambar ini, terlihat bahwa untuk Katup-07, rata-rata kecepatan aliran adalah 15,7 m/s. Katup-06 memiliki rata-rata kecepatan aliran sebesar 6,999 m/s, sedangkan Katup-05 menunjukkan rata-rata kecepatan aliran sebesar 8 m/s. Sementara itu, Katup-01 memiliki rata-rata kecepatan aliran sebesar 7,707 m/s.

4.1.1.4 Hasil Simulasi Kelembaban Pada Ducting *Submersible Vehicle*



Gambar 4.7 Kelembababn Pada Ducting Kondisi Awal

Gambar 4.7 menyajikan data rata-rata kelembaban udara (dalam persentase) di berbagai area observasi pada sistem HVAC ducting sebelum dimodifikasi. Dari gambar ini, terlihat bahwa Snorkel Flap memiliki rata-rata kelembaban tertinggi sebesar 74,3%. Katup-07 memiliki rata-rata kelembaban sebesar 64,97%, sementara Katup-06 mencatat rata-rata kelembaban hampir setara dengan Snorkel Flap, yaitu 74,7%. Katup-05 menunjukkan rata-rata kelembaban terendah sebesar 62,04%, dan Katup-01 memiliki rata-rata kelembaban sebesar 68%.



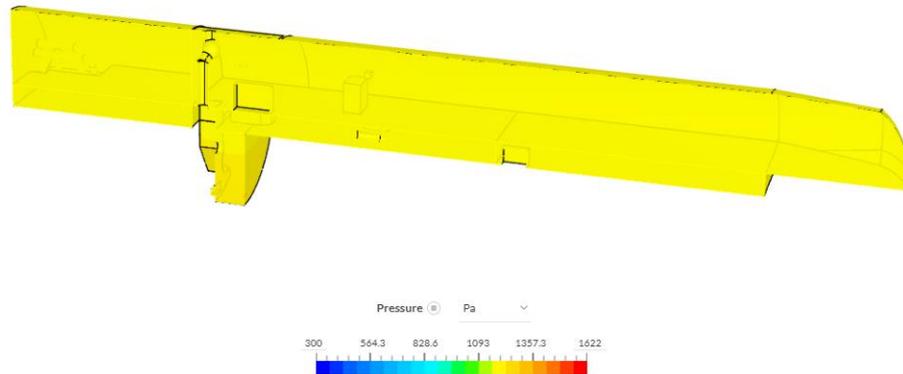
Gambar 4.8 Kelembaban Pada Ducting Kondisi Modifikasi

Gambar 4.8 menyajikan data rata-rata kelembaban udara (dalam persentase) di berbagai katup pada sistem HVAC ducting. Dari gambar ini, terlihat bahwa Katup-07 memiliki rata-rata kelembaban sebesar 60,13%. Katup-06 mencatat rata-rata kelembaban tertinggi di antara katup yang diamati, yaitu sebesar 62,92%. Katup-05 menunjukkan rata-rata kelembaban sebesar 60,02%, sementara Katup-01 memiliki rata-rata kelembaban sebesar 65,91%.

4.1.2 Hasil Simulasi Pada Ruang Operasi 1, Operasi 2 dan Ruang Operasi 3

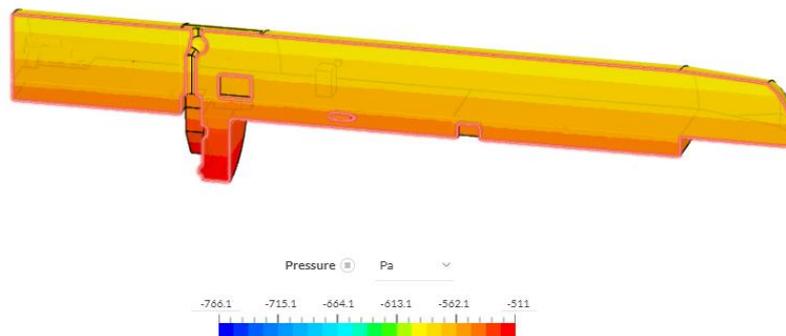
Hasil simulasi pada ruang Operasi 1, Operasi 2 dan Operasi 3 menyajikan hasil dari beberapa parameter penting seperti tekanan, kelembaban, kecepatan udara, dan suhu, baik sebelum maupun setelah dilakukan modifikasi. Data yang diperoleh dari simulasi ini menunjukkan bagaimana setiap parameter berubah akibat dari modifikasi yang dilakukan. Sebelum modifikasi, tekanan, kelembaban, kecepatan udara, dan suhu memiliki nilai tertentu yang mencerminkan kondisi awal sistem. Setelah dilakukan modifikasi, nilai-nilai dari parameter tersebut mengalami perubahan yang signifikan, menunjukkan efektivitas dari modifikasi yang diterapkan.

4.1.2.1 Hasil Simulasi Tekanan Pada Ruang Operasi 1, Operasi 2 dan Operasi 3



Gambar 4.9 Tekanan Pada Ruang Operasi 1, Operasi 2 dan Operasi 3 Kondisi Awal

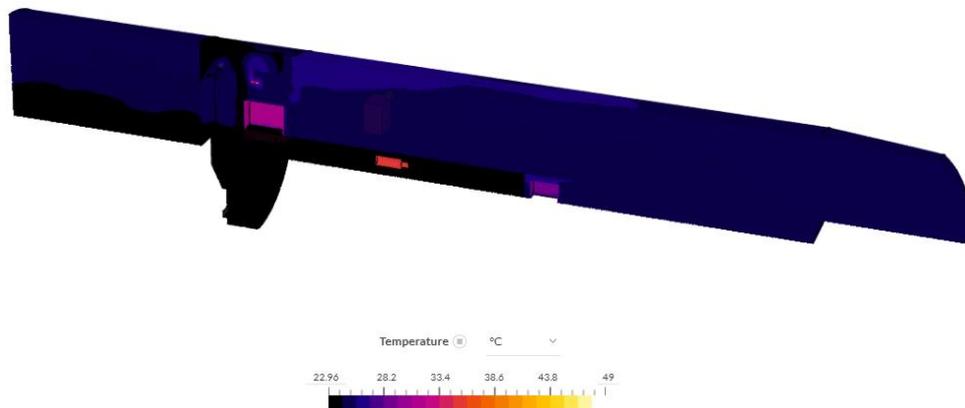
Gambar 4.9 menyajikan data observasi terkait rata-rata tekanan di berbagai area dalam *submersible vehicle* kondisi sebelum di modifikasi. Dari gambar ini, terlihat bahwa di R. Operasi 1, tekanan rata-rata adalah 102518 Pa. Di area Operasi 2, tekanan rata-rata adalah 102513 Pa. Sementara itu, di R. Operasi 3 tekanan rata-rata adalah 102519 Pa.



Gambar 4.10 Tekanan Pada Ruang Operasi 1, Operasi 2 dan Operasi 3 Kondisi Modifikasi

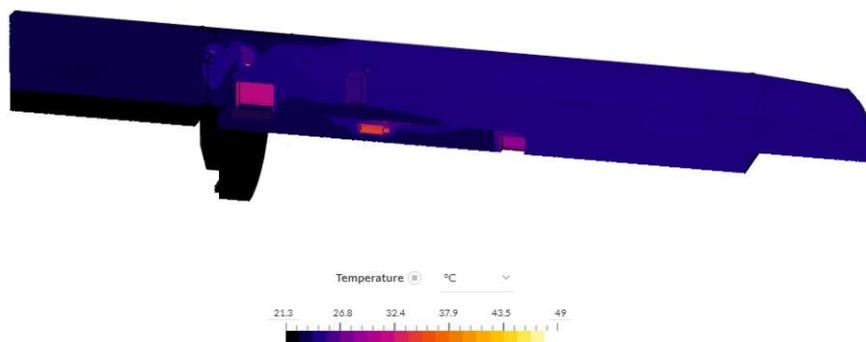
Gambar 4.10 menyajikan data observasi terkait rata-rata tekanan di berbagai area dalam *submersible vehicle* kondisi setelah di modifikasi. Berdasarkan tekanan rata-rata, Ruang Operasi 3 mencatat tekanan tertinggi sebesar 100778 Pa, diikuti oleh Ruang Operasi 1 dengan 100763 Pa dan Operasi 2 dengan 100758 Pa.

4.1.2.2 Hasil Simulasi Suhu Pada Ruang Operasi 1, Operasi 2 dan Operasi 3



Gambar 4.11 Suhu Pada Ruang Operasi 1, Operasi 2 dan Operasi 3 Kondisi Awal

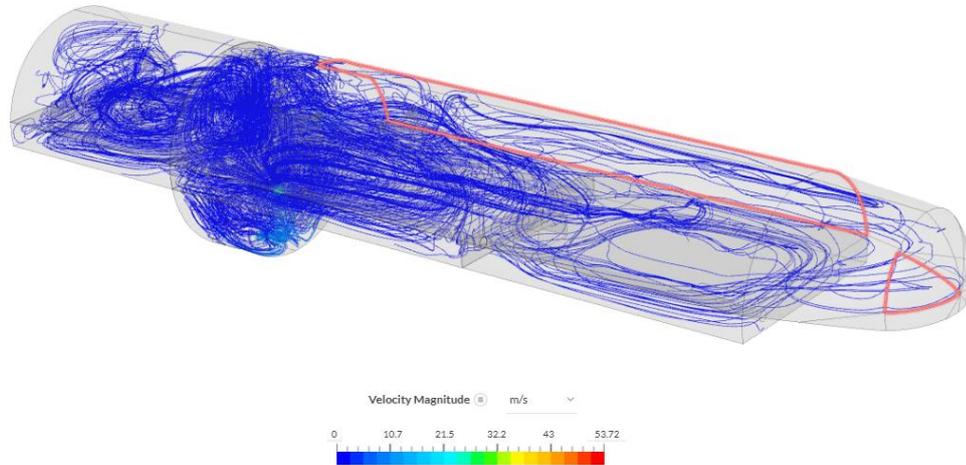
Gambar 4.11 menyajikan data observasi terkait rata-rata suhu di berbagai area dalam submersible vehicle sebelum modifikasi. Dari gambar ini, terlihat bahwa di ruang Operasi 1, rata-rata suhu sebesar $24,2^{\circ}\text{C}$. Di area Operasi 2, dengan suhu rata-rata $24,23^{\circ}\text{C}$. Sementara itu, di ruang Operasi 3 dengan suhu rata-rata $25,6^{\circ}\text{C}$.



Gambar 4.12 Suhu Pada Ruang Operasi 1, Operasi 2 dan Operasi 3 Kondisi Modifikasi

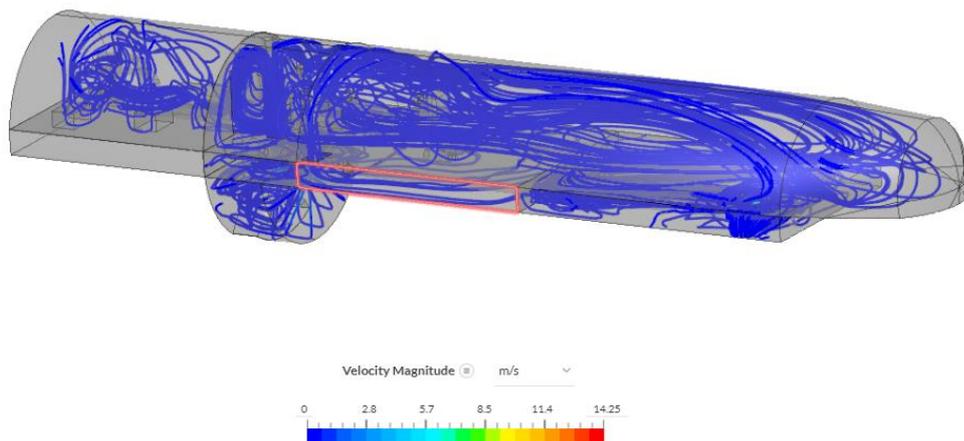
Gambar 4.12 menyajikan data observasi terkait rata-rata suhu di berbagai area dalam submersible vehicle setelah modifikasi. Berdasarkan suhu rata-rata, Ruang Operasi 3 mencatat suhu tertinggi sebesar $24,38^{\circ}\text{C}$, diikuti oleh Operasi 2 dengan $23,99^{\circ}\text{C}$ dan Ruang Operasi 1 dengan $23,74^{\circ}\text{C}$.

4.1.2.3 Hasil Simulasi Distribusi Udara Pada Ruang Operasi 1, Operasi 2 dan Operasi 3



Gambar 4.13 Distribusi Udara Pada Ruang Operasi 1, Operasi 2 dan Operasi 3 Kondisi Awal

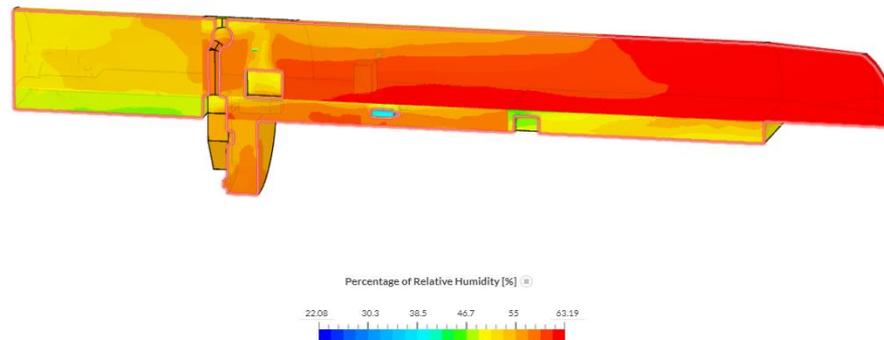
Gambar 4.13 menyajikan data observasi terkait rata-rata kecepatan aliran udara di berbagai area dalam submersible vehicle sebelum modifikasi. Dari gambar ini, terlihat bahwa di R. Operasi 1, kecepatan aliran udara adalah 0,0416 m/s. Di area Operasi 2, kecepatan aliran udara tercatat sebesar 0,311 m/s. Sementara itu, di R. Operasi 3, kecepatan aliran udara adalah 0,0427 m/s.



Gambar 4.14 Distribusi Udara Pada Ruang Operasi 1, Operasi 2 dan Operasi 3 Kondisi Modifikasi

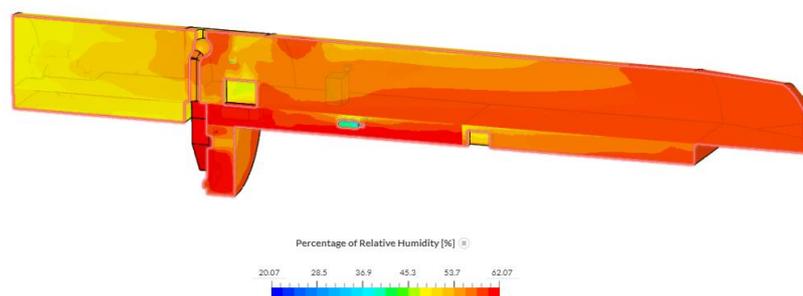
Gambar 4.14 menyajikan data observasi terkait rata-rata kecepatan aliran udara di berbagai area dalam submersible vehicle setelah dimodifikasi. Berdasarkan kecepatan aliran udara, area Operasi 2 memiliki kecepatan tertinggi sebesar 0,2059 m/s, diikuti oleh Ruang Operasi 3 dengan 0,0299 m/s dan Ruang Operasi 1 dengan 0,02928 m/s.

4.1.2.4 Hasil Simulasi Kelembaban Pada Ruang Operasi 1, Operasi 2 dan Operasi 3



Gambar 4.15 Kelembaban Pada Ruang Operasi 1, Operasi 2 dan Operasi 3 Kondisi Awal

Gambar 4.15 menyajikan data observasi terkait rata-rata kelembaban di berbagai area dalam submersible vehicle sebelum modifikasi. Dari gambar ini, terlihat bahwa di R. Operasi 1, rata – rata kelembaban 54,35%. Di area Operasi 2, kelembaban rata – rata adalah 59,74%. Sementara itu, di R. Operasi 3, kelembaban rata rata adalah 61,09%.



Gambar 4.16 Kelembaban Pada Ruang Operasi 1, Operasi 2 dan Operasi 3 Kondisi Modifikasi

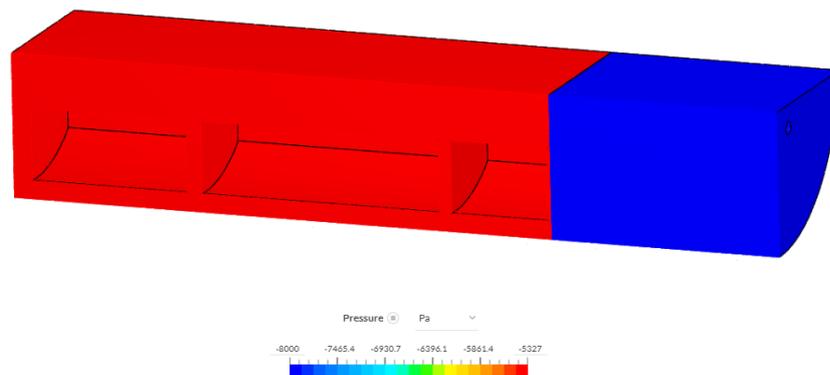
Gambar 4.16 menyajikan data observasi terkait rata-rata kelembaban di berbagai area dalam submersible vehicle setelah modifikasi. Berdasarkan kelembaban, Operasi 2 memiliki kelembaban tertinggi sebesar 57,51%, diikuti oleh Ruang Operasi 3 dengan 56,84% dan Ruang Operasi 1 dengan 51,27%.

4.1.3 Hasil Simulasi Pada Ruang Baterai A dan Ruang Permesinan Bantu

Hasil simulasi pada ruang baterai A dan ruang permesinan bantu menyajikan hasil dari beberapa parameter penting seperti tekanan, kelembaban, kecepatan udara, dan suhu, baik sebelum maupun setelah dilakukan modifikasi. Data yang diperoleh dari simulasi ini menunjukkan bagaimana setiap parameter berubah akibat dari modifikasi yang dilakukan. Sebelum modifikasi, tekanan, kelembaban, kecepatan udara, dan suhu memiliki nilai tertentu yang mencerminkan kondisi awal sistem. Setelah dilakukan modifikasi, nilai-nilai

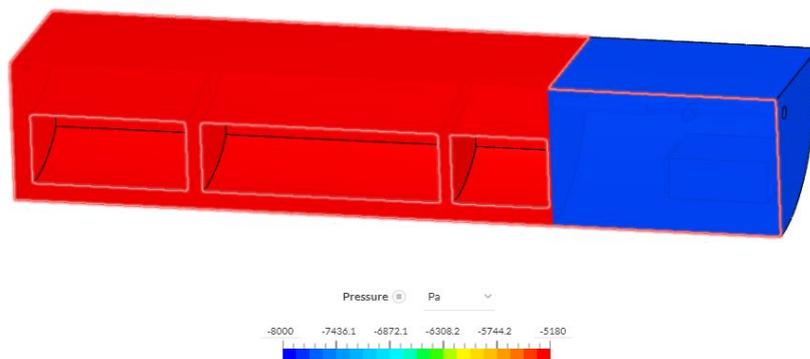
dari parameter tersebut mengalami perubahan yang signifikan, menunjukkan efektivitas dari modifikasi yang diterapkan.

4.1.3.1 Hasil Simulasi Tekanan Pada Ruang Baterai A dan Ruang Permesinan Bantu



Gambar 4.17 Tekanan Pada Ruang Baterai A dan Ruang Permesinan Bantu Kondisi Awal

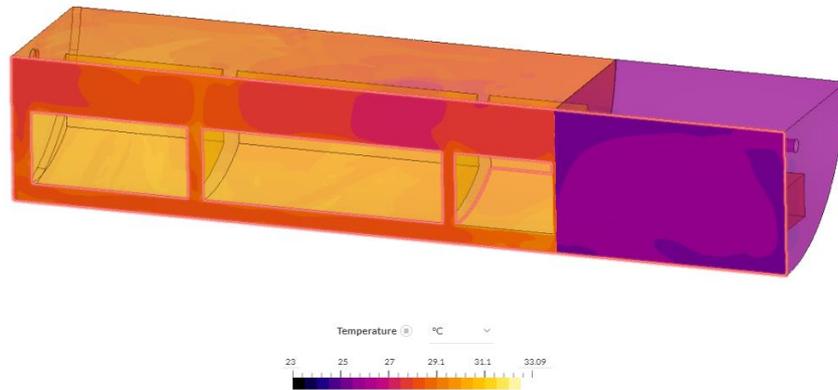
Berdasarkan gambar 4.17 tekanan rata-rata, R. Baterai A mencatat tekanan rata-rata sebesar 95980 Pa, diikuti oleh R. Permesinan Bantu dengan 93814 Pa. Kondisi di dalam ruangan juga dipengaruhi oleh suhu dua buah baterai yang mencapai 33°C dan suhu komponen K4 ACU sebesar 27,666°C.



Gambar 4.18 Tekanan Pada Ruang Baterai A dan Ruang Permesinan Bantu Kondisi Modifikasi

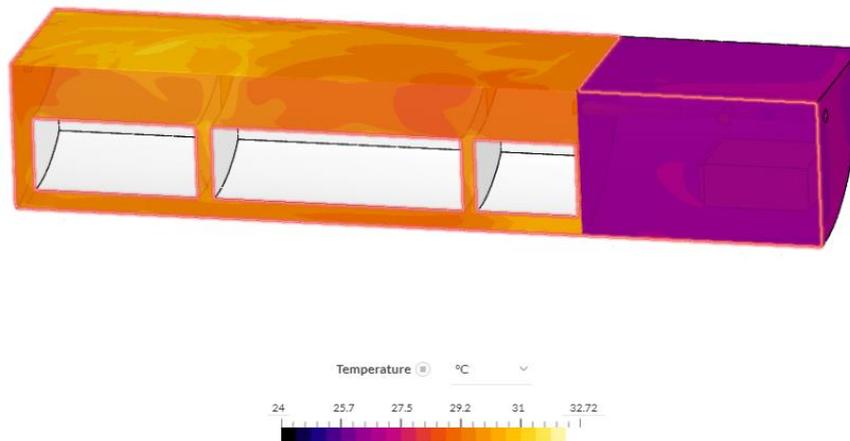
Berdasarkan gambar 4.18 tekanan rata-rata, R. Baterai A mencatat tekanan rata-rata sebesar 96126 Pa, diikuti oleh R. Permesinan Bantu dengan 93585 Pa. Kondisi di dalam ruangan juga dipengaruhi oleh suhu dua buah baterai yang mencapai 33°C dan suhu komponen K4 ACU sebesar 27,666°C.

4.1.3.2 Hasil Simulasi Suhu Pada Ruang Baterai A dan Ruang Permesinan Bantu



Gambar 4.19 Suhu Pada Ruang Baterai A dan Ruang Permesinan Bantu Kondisi Awal

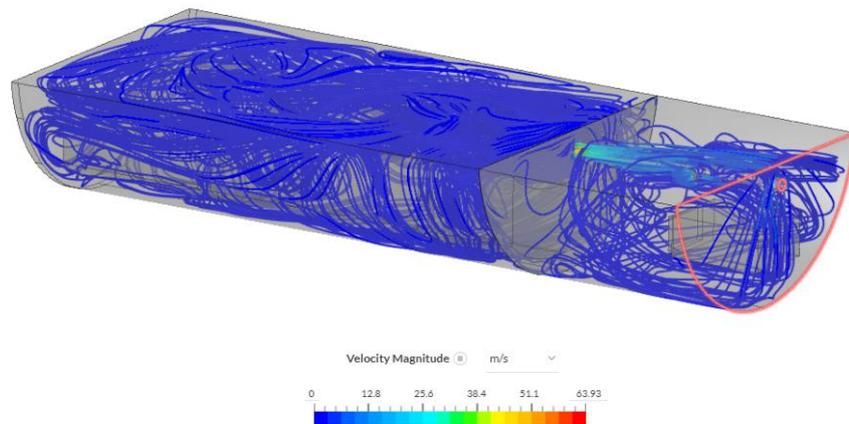
Berdasarkan gambar 4.19 suhu rata-rata, R. Baterai A mencatat suhu rata-rata sebesar $28,1^{\circ}\text{C}$, diikuti oleh R. Permesinan Bantu dengan $25,5^{\circ}\text{C}$. Kondisi di dalam ruangan juga dipengaruhi oleh suhu dua buah baterai yang mencapai 33°C dan suhu komponen K4 ACU sebesar $27,666^{\circ}\text{C}$.



Gambar 4.20 Suhu Pada Ruang Baterai A dan Ruang Permesinan Bantu Kondisi Modifikasi

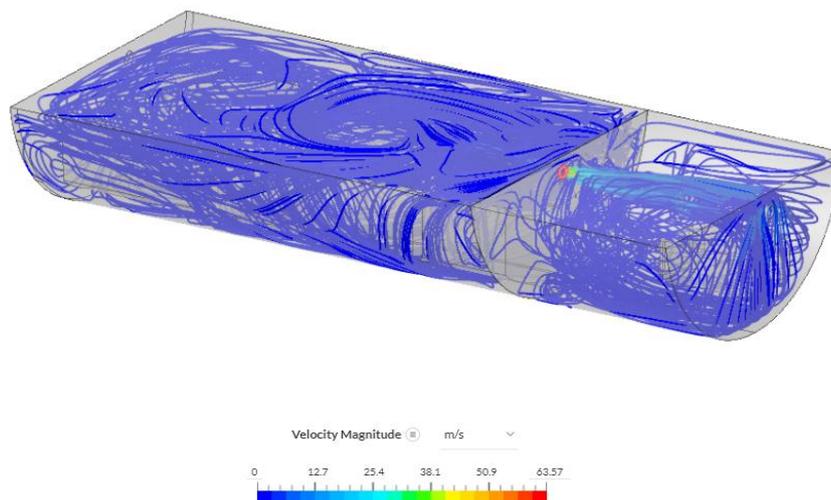
Berdasarkan gambar 4.20 suhu rata-rata, R. Baterai A mencatat suhu tertinggi sebesar $29,34^{\circ}\text{C}$, diikuti oleh R. Permesinan Bantu dengan $26,48^{\circ}\text{C}$. Kondisi di dalam ruangan juga dipengaruhi oleh suhu dua buah baterai yang mencapai 33°C dan suhu komponen K4 ACU sebesar $27,666^{\circ}\text{C}$.

4.1.3.3 Hasil Simulasi Distribusi Udara Pada Ruang Baterai A dan Ruang Permesinan Bantu



Distribusi Udara Pada Ruang Baterai A dan Ruang Permesinan Bantu Kondisi Awal

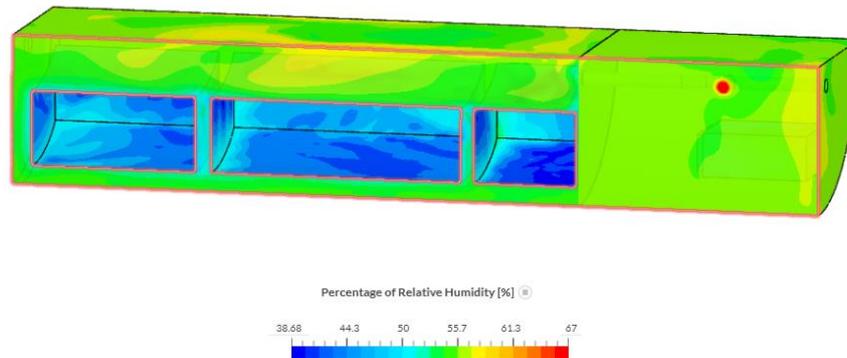
Berdasarkan kecepatan aliran udara, area R. Permesinan Bantu memiliki kecepatan tertinggi sebesar 0,968 m/s, diikuti oleh R. Baterai A dengan 0,47 m/s. Dalam hal suhu rata-rata, R. Baterai A mencatat suhu tertinggi sebesar 28,1°C, diikuti oleh R. Permesinan Bantu dengan 25,5°C. Kondisi di dalam ruangan juga dipengaruhi oleh suhu dua buah baterai yang mencapai 33°C dan suhu komponen K4 ACU sebesar 27,666°C.



Gambar 4.21 Distribusi Udara Pada Ruang Baterai A dan Ruang Permesinan Bantu Kondisi Modifikasi

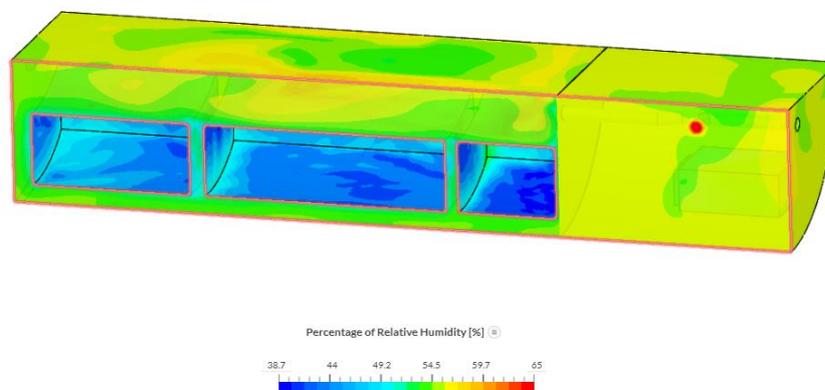
Berdasarkan kecepatan aliran udara, area R. Permesinan Bantu memiliki kecepatan rata-rata sebesar 0,964 m/s, diikuti oleh R. Baterai A dengan 0,733 m/s. Kondisi di dalam ruangan juga dipengaruhi oleh suhu dua buah baterai yang mencapai 33°C dan suhu komponen K4 ACU sebesar 27,666°C.

4.1.3.4 Hasil Simulasi Kelembaban Pada Ruang Baterai A dan Ruang Permesinan Bantu



Gambar 4.22 Kelembaban Pada Ruang Baterai A dan Ruang Permesinan Bantu Kondisi Awal

Berdasarkan kelembaban, R. Baterai A memiliki kelembaban tertinggi sebesar 56,03%, diikuti oleh R. Permesinan Bantu dengan 55,06%. Kondisi di dalam ruangan juga dipengaruhi oleh suhu dua buah baterai yang mencapai 33°C dan suhu komponen K4 ACU sebesar 27,666°C.



Gambar 4.23 Kelembaban Pada Ruang Baterai A dan Ruang Permesinan Bantu Kondisi Modifikasi

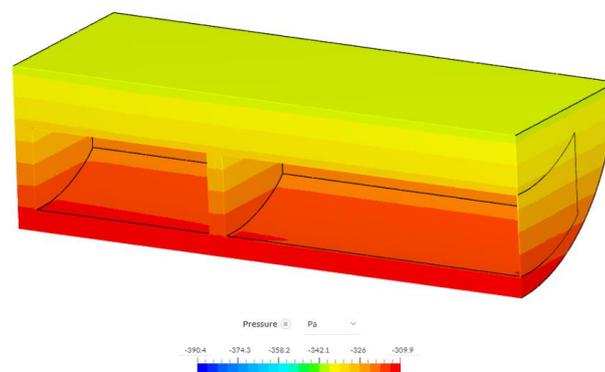
Berdasarkan kelembaban, R. Baterai A memiliki kelembaban rata-rata sebesar 55,65%, diikuti oleh R. Permesinan Bantu dengan 55,05%. Kondisi di dalam ruangan juga dipengaruhi oleh suhu dua buah baterai yang mencapai 33°C dan suhu komponen K4 ACU sebesar 27,666°C.

4.1.4 Hasil Simulasi Pada Ruang Baterai B

Hasil simulasi pada ruang baterai B menyajikan hasil dari beberapa parameter penting seperti tekanan, kelembaban, kecepatan udara, dan suhu, baik sebelum maupun

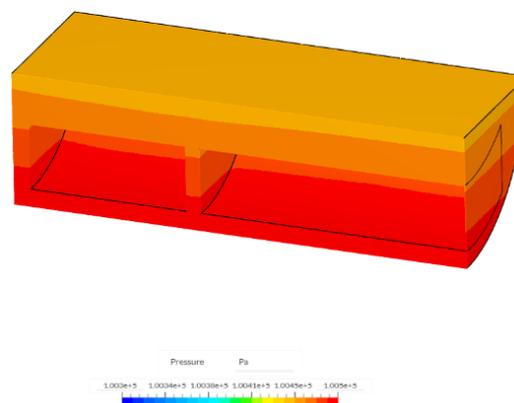
setelah dilakukan modifikasi. Data yang diperoleh dari simulasi ini menunjukkan bagaimana setiap parameter berubah akibat dari modifikasi yang dilakukan. Sebelum modifikasi, tekanan, kelembaban, kecepatan udara, dan suhu memiliki nilai tertentu yang mencerminkan kondisi awal sistem. Setelah dilakukan modifikasi, nilai-nilai dari parameter tersebut mengalami perubahan yang signifikan, menunjukkan efektivitas dari modifikasi yang diterapkan.

4.1.4.1 Hasil Simulasi Tekanan Pada Ruang Baterai B



Gambar 4.24 Tekanan Pada Ruang Baterai B Kondisi Awal

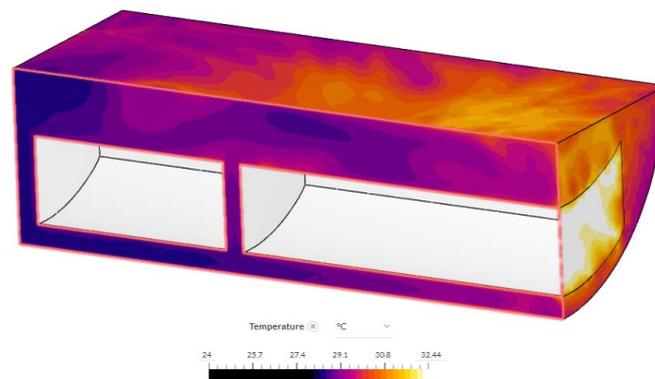
Gambar 4.24 menyajikan data rata-rata tekanan di area observasi ruang baterai B. Berdasarkan tekanan rata-rata, Ruang Baterai B mencatat tekanan sebesar 101655,6 Pa. Dalam ruangan ini terdapat dua buah baterai, dengan kondisi suhu baterai di dalam ruangan adalah 33°C. Kondisi udara masuk dari Katup-01 memiliki kecepatan aliran sebesar 7,07 m/s, suhu udara masuk 31,18°C, dan kelembaban 65,91%.



Gambar 4.25 Tekanan Pada Ruang Baterai B Kondisi Modifikasi

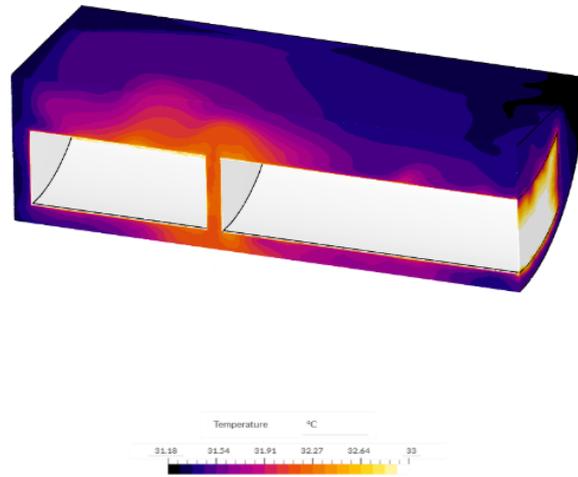
Gambar 4.25 menyajikan data rata-rata tekanan di area observasi ruang baterai B. Dari gambar ini, terlihat area ruang baterai B dengan rata-rata tekanan sebesar 100456 Pa. Terdapat dua buah baterai dalam ruangan ini, dengan kondisi suhu di dalam ruangan sebesar 33 derajat Celsius. Dalam ruangan ini terdapat dua buah baterai, dengan kondisi suhu baterai di dalam ruangan adalah 33°C. Kondisi udara masuk dari Katup-01 memiliki kecepatan aliran sebesar 7,07 m/s, suhu udara masuk 31,18°C, dan kelembaban 65,91%.

4.1.4.2 Hasil Simulasi Suhu Pada Ruang Baterai B



Gambar 4.26 Suhu Pada Ruang Baterai B Kondisi Awal

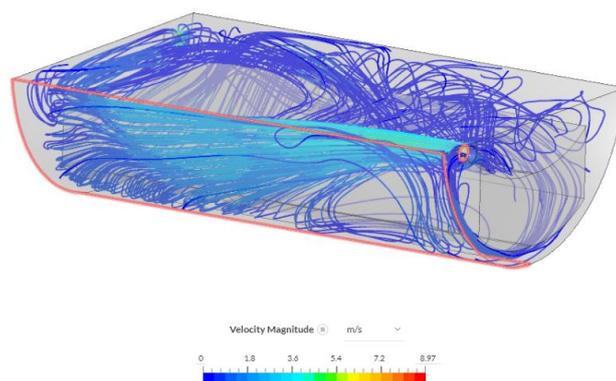
Gambar 4.26 menyajikan data rata-rata suhu di area observasi ruang baterai B. Berdasarkan gambar suhu rata-rata. Ruang Baterai B mencatat suhu sebesar 28,8°C. Kondisi di dalam ruangan ini dipengaruhi oleh dua buah baterai yang memiliki suhu mencapai 33°C.



Gambar 4.27 Suhu Pada Ruang Baterai B Kondisi Modifikasi

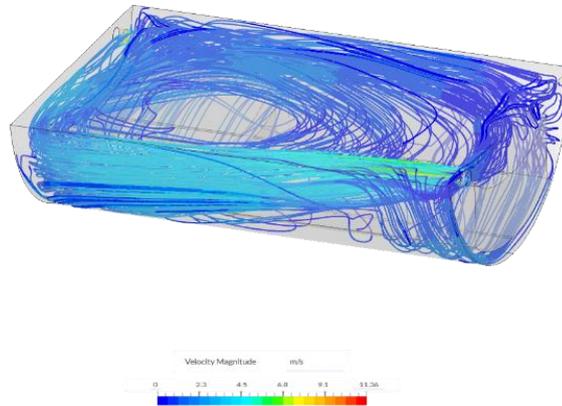
Gambar 4.27 menyajikan data rata-rata suhu di area observasi ruang baterai B. Dari gambar ini, terlihat area ruang baterai B dengan rata-rata suhu sebesar 31,2°C. Terdapat dua buah baterai dalam ruangan ini, dengan kondisi suhu di dalam ruangan sebesar 33 derajat Celsius. Kondisi udara masuk dari Katup-01 memiliki kecepatan aliran sebesar 7,07 m/s, suhu udara masuk 31,18°C, dan kelembaban 65,91%.

4.1.4.3 Hasil Simulasi Distribusi Udara Pada Ruang Baterai B



Gambar 4.28 Distribusi Udara Pada Ruang Baterai B Kondisi Awal

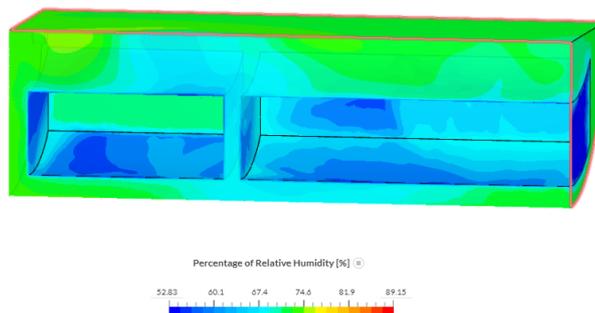
Gambar 4.29 menyajikan data rata-rata kecepatan aliran udara (dalam meter per detik) di area observasi ruang baterai B sebelum dimodifikasi. Berdasarkan rata-rata kecepatan aliran udara, Ruang Baterai B memiliki kecepatan aliran sebesar 0,311 m/s. Kondisi di dalam ruangan ini dipengaruhi oleh dua buah baterai yang memiliki suhu mencapai 33°C.



Gambar 4.29 Distribusi Udara Pada Ruang Baterai B Kondisi Modifikasi

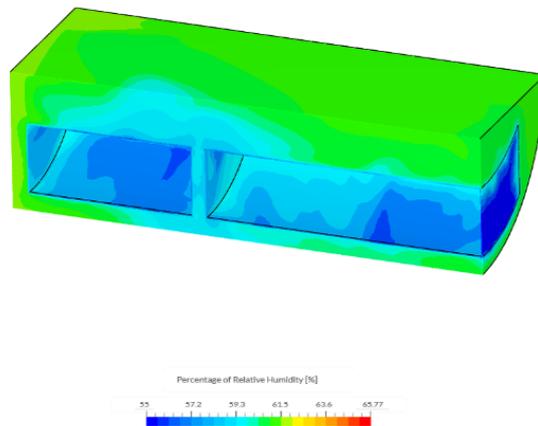
Gambar 4.29 menyajikan data rata-rata kecepatan aliran udara (dalam meter per detik) di area observasi ruang baterai B. Dari gambar ini, terlihat bahwa kecepatan aliran udara di area tersebut adalah 0,375 m/s. Terdapat dua buah baterai dalam ruangan ini, dengan kondisi suhu di dalam ruangan sebesar 33 derajat Celsius. Selain itu, kondisi udara masuk dari Katup-01 memiliki kecepatan aliran sebesar 7,07 m/s.

4.1.4.4 Hasil Simulasi Kelembaban Pada Ruang Baterai B



Gambar 4.30 Kelembaban Pada Ruang Baterai B Kondisi Awal

Gambar 4.30 menyajikan data rata-rata kelembaban di area observasi ruang baterai B. Berdasarkan kelembaban, Ruang Baterai B memiliki kelembaban sebesar 68,93%. Dalam ruangan ini terdapat dua buah baterai, dengan kondisi suhu baterai di dalam ruangan adalah 33°C. Kondisi udara masuk dari Katup-01 memiliki kecepatan aliran sebesar 7,07 m/s, suhu udara masuk 31,18°C, dan kelembaban 65,91%.



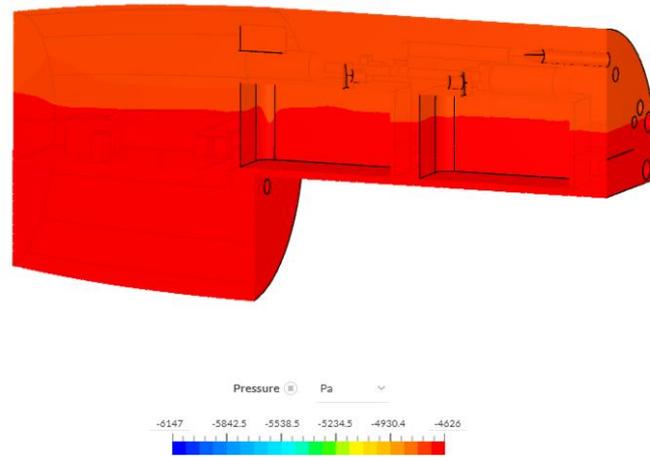
Gambar 4.31 Kelembaban Pada Ruang Baterai B Kondisi Modifikasi

Gambar 4.31 menyajikan data rata-rata kelembaban di area observasi ruang baterai B. Dari gambar ini, terlihat area ruang baterai B dengan rata-rata kelembaban 60,46%. Terdapat dua buah baterai dalam ruangan ini, dengan kondisi suhu di dalam ruangan sebesar 33 derajat Celsius. Dalam ruangan ini terdapat dua buah baterai, dengan kondisi suhu baterai di dalam ruangan adalah 33°C. Kondisi udara masuk dari Katup-01 memiliki kecepatan aliran sebesar 7,07 m/s, suhu udara masuk 31,18°C, dan kelembaban 65,91%.

4.1.5 Hasil Simulasi Pada Ruang Permesinan

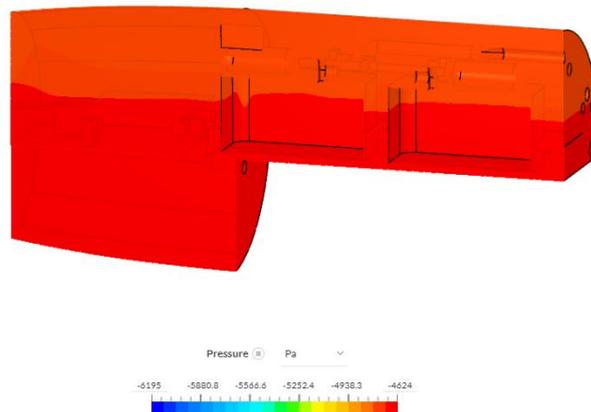
Hasil simulasi pada Ruang Permesinan menyajikan hasil dari beberapa parameter penting seperti tekanan, kelembaban, kecepatan udara, dan suhu, baik sebelum maupun setelah dilakukan modifikasi. Data yang diperoleh dari simulasi ini menunjukkan bagaimana setiap parameter berubah akibat dari modifikasi yang dilakukan. Sebelum modifikasi, tekanan, kelembaban, kecepatan udara, dan suhu memiliki nilai tertentu yang mencerminkan kondisi awal sistem. Setelah dilakukan modifikasi, nilai-nilai dari parameter tersebut mengalami perubahan yang signifikan, menunjukkan efektivitas dari modifikasi yang diterapkan.

4.1.5.1 Hasil Simulasi Tekanan Pada Ruang Permesinan



Gambar 4.32 Tekanan Pada Ruang Permesinan Kondisi Awal

Gambar 4.32 menyajikan data rata-rata tekanan udara di area observasi Ruang Permesinan sebelum dilakukan modifikasi. Berdasarkan tekanan rata-rata, Ruang Permesinan mencatat tekanan sebesar 96624 Pa. Udara masuk ke dalam ruangan melalui Katup-07 dengan kecepatan 15,7 m/s dan Katup-06 dengan kecepatan 6,999 m/s. Di dalam ruangan, terdapat empat diesel generator yang menyala dengan suhu operasi sebesar 74°C, serta beberapa komponen lain yang juga mengeluarkan panas.

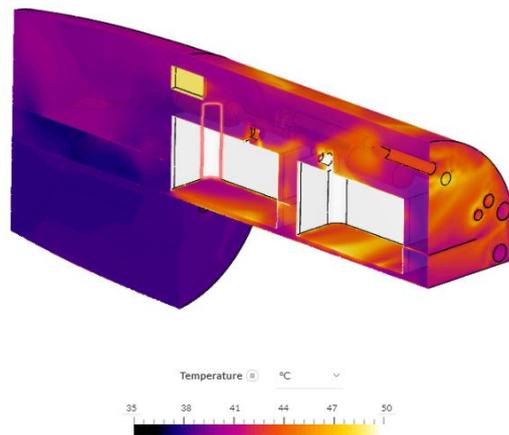


Gambar 4.33 Tekanan Pada Ruang Permesinan Kondisi Modifikasi

Gambar 4.33 menyajikan data rata-rata tekanan di area observasi Ruang Permesinan setelah dilakukan modifikasi. Dari gambar ini, terlihat bahwa tekanan di area tersebut adalah 96626 Pa. Udara masuk ke dalam ruangan melalui Katup-07 dengan kecepatan 15,7 m/s dan Katup-06 dengan kecepatan 6,999 m/s. Di dalam ruangan, terdapat empat diesel

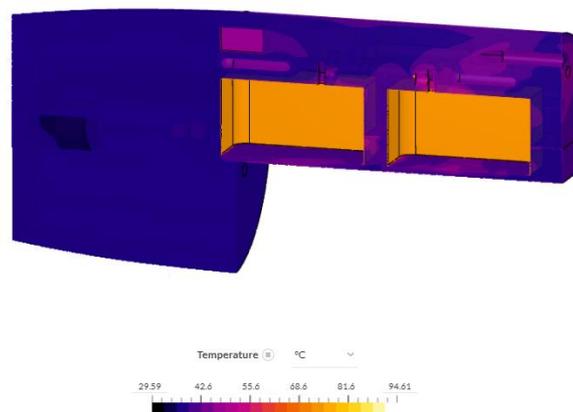
generator yang menyala dengan suhu operasi sebesar 74°C , serta beberapa komponen lain yang juga mengeluarkan panas.

4.1.5.2 Hasil Simulasi Suhu Pada Ruang Permesinan



Gambar 4.34 Suhu Pada Ruang Permesinan Kondisi Awal

Gambar 4.34 menyajikan data rata-rata suhu udara di area observasi Ruang Permesinan sebelum dilakukan modifikasi. Berdasarkan gambar 4. suhu rata-rata, Ruang Permesinan mencatat suhu sebesar $39,65^{\circ}\text{C}$. Di dalam ruangan, terdapat empat diesel generator yang menyala dengan suhu operasi sebesar 74°C , serta beberapa komponen lain yang juga mengeluarkan panas.

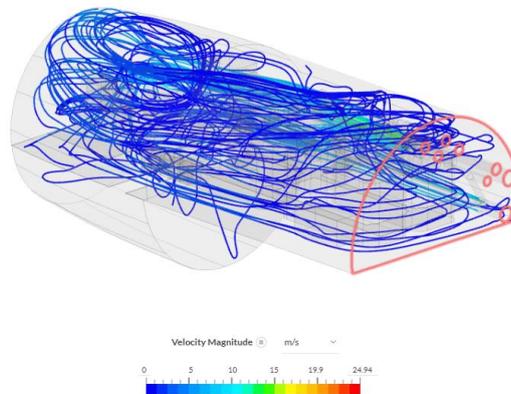


Gambar 4.35 Suhu Pada Ruang Permesinan Kondisi Modifikasi

Gambar 4.35 menyajikan data rata-rata suhu udara di area observasi Ruang Permesinan setelah dilakukan modifikasi. Dari gambar ini, terlihat bahwa suhu di area tersebut adalah $38,41^{\circ}\text{C}$. Udara masuk ke dalam ruangan melalui Katup-07 dengan

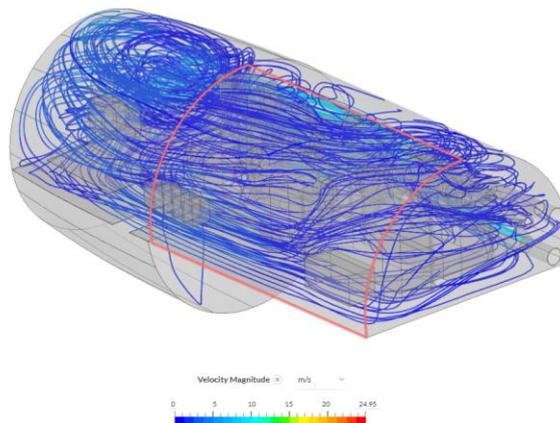
kecepatan 15,7 m/s dan Katup-06 dengan kecepatan 6,999 m/s. Di dalam ruangan, terdapat empat diesel generator yang menyala dengan suhu operasi sebesar 74°C, serta beberapa komponen lain yang juga mengeluarkan panas.

4.1.5.3 Hasil Simulasi Distribusi Udara Pada Ruang Permesinan



Gambar 4.36 Distribusi Udara Pada Ruang Permesinan Kondisi Awal

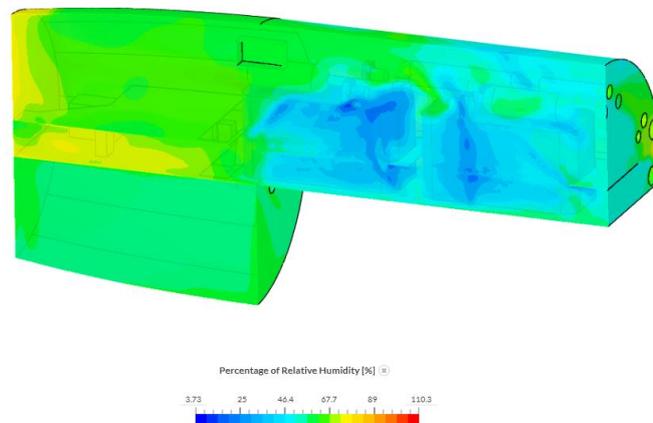
Gambar 4.36 menyajikan data rata-rata kecepatan aliran udara di area observasi Ruang Permesinan sebelum dilakukan modifikasi. Berdasarkan rata-rata kecepatan aliran udara, Ruang Permesinan mencatat kecepatan aliran sebesar 1,8 m/s. Di dalam ruangan, terdapat empat diesel generator yang menyala dengan suhu operasi sebesar 74°C, serta beberapa komponen lain yang juga mengeluarkan panas.



Gambar 4.37 Distribusi Udara Pada Ruang Permesinan Kondisi Modifikasi

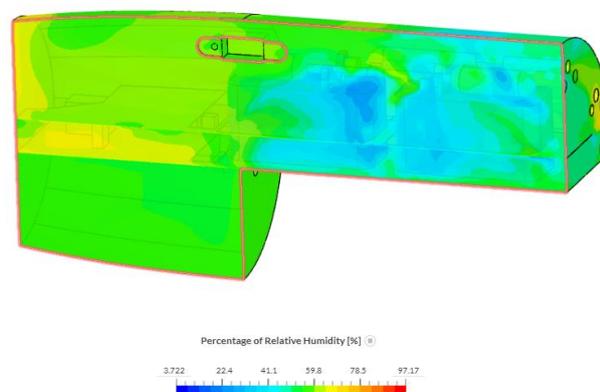
Gambar 4.37 menyajikan data rata-rata kecepatan aliran udara di area observasi Ruang Permesinan setelah dilakukan modifikasi. Dari gambar ini, terlihat bahwa kecepatan aliran udara di area tersebut adalah 1,559 m/s. Udara masuk ke dalam ruangan melalui Katup-07 dengan kecepatan 15,7 m/s dan Katup-06 dengan kecepatan 6,999 m/s. Di dalam ruangan, terdapat empat diesel generator yang menyala dengan suhu operasi sebesar 74°C, serta beberapa komponen lain yang juga mengeluarkan panas.

4.1.5.4 Hasil Simulasi Kelembaban Pada Ruang Permesinan



Gambar 4.38 Kelembaban Pada Ruang Permesinan Kondisi Awal

Gambar 4.38 menyajikan data rata-rata kecepatan aliran udara di area observasi Ruang Permesinan sebelum dilakukan modifikasi. Berdasarkan kelembaban, Ruang Permesinan memiliki kelembaban sebesar 49,02%.



Gambar 4.39 Kelembaban Pada Ruang Permesinan Kondisi Modifikasi

Gambar 4.39 menyajikan data rata-rata kelembaban udara di area observasi Ruang Permesinan setelah dilakukan modifikasi. Dari gambar ini, terlihat bahwa kelembaban di area tersebut adalah 47,48%. Udara masuk ke dalam ruangan melalui Katup-07 dengan kecepatan 15,7 m/s dan Katup-06 dengan kecepatan 6,999 m/s. Di dalam ruangan, terdapat empat diesel generator yang menyala dengan suhu operasi sebesar 74°C, serta beberapa komponen lain yang juga mengeluarkan panas.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Perbandingan Data Suhu, Tekanan, Kecepatan dan Kelembaban pada Ducting di Submersible Vehicle

Tabel 4.1 Perbandingan Data Kecepatan Aliran pada Ducting

No.	Area Observasi	Rata-rata Kecepatan Aliran (m/s)		
		Awal	Modifikasi	Perbedaan
1	KATUP-07	15,55	15,7	0,96%
2	KATUP-06	7,982	6,999	12,32%
3	KATUP-05	8,274	8	3,31%
4	KATUP-01	5,629	7,707	36,92%

Tabel 4.1 menyajikan data observasi terkait rata-rata kecepatan aliran udara (dalam meter per detik) pada empat katup berbeda sebelum dan setelah dilakukan modifikasi, serta perbedaan persentase antara kondisi awal dan setelah modifikasi. Katup-07 menunjukkan perubahan kecepatan aliran dari 15,55 m/s pada kondisi awal menjadi 15,7 m/s setelah modifikasi, dengan perbedaan sebesar 0,96%. Katup-06 mengalami penurunan kecepatan aliran dari 7,982 m/s menjadi 6,999 m/s, dengan perbedaan sebesar 12,32%. Katup-05 memiliki perubahan kecepatan aliran dari 8,274 m/s pada kondisi awal menjadi 8 m/s setelah modifikasi, dengan perbedaan sebesar 3,31%. Sementara itu, Katup-01 menunjukkan peningkatan kecepatan aliran dari 5,629 m/s menjadi 7,707 m/s, dengan perbedaan terbesar di antara katup lainnya, yaitu sebesar 36,92%. Analisis ini menunjukkan bahwa Katup-01 mengalami perubahan terbesar dalam kecepatan aliran udara setelah modifikasi.

Tabel 4.2 Perbandingan Data Suhu pada Ducting

No.	Area Observasi	Rata-rata Suhu (C)		
		Awal	Modifikasi	Perbedaan
1	KATUP-07	32,73	29,59	9,59%
2	KATUP-06	32,56	32,88	0,98%
3	KATUP-05	28,26	28,08	0,64%
4	KATUP-01	24	31,18	29,92%

Tabel 4.2 menyajikan data observasi terkait rata-rata suhu (dalam derajat Celsius) pada empat katup berbeda sebelum dan setelah dilakukan modifikasi, serta perbedaan persentase antara kondisi awal dan setelah modifikasi. Katup-07 menunjukkan penurunan suhu dari 32,73°C pada kondisi awal menjadi 29,59°C setelah modifikasi, dengan perbedaan sebesar 9,59%. Katup-06 mengalami peningkatan suhu dari 32,56°C menjadi 32,88°C, dengan perbedaan sebesar 0,98%. Katup-05 mencatat sedikit penurunan suhu dari 28,26°C menjadi 28,08°C setelah modifikasi, dengan perbedaan sebesar 0,64%. Sementara itu, Katup-01 menunjukkan peningkatan suhu yang signifikan dari 24°C menjadi 31,18°C, dengan perbedaan terbesar di antara katup lainnya yaitu sebesar 29,92%. Analisis ini

menunjukkan bahwa Katup-01 mengalami perubahan terbesar dalam suhu rata-rata setelah modifikasi.

Tabel 4.3 Perbandingan Data Kelembaban pada Ducting

No.	Area Observasi	Rata-rata Kelembaban (%)		
		Awal	Modifikasi	Perbedaan
1	KATUP-07	64,97	60,13	7,45%
2	KATUP-06	74,7	62,92	15,77%
3	KATUP-05	62,04	60,02	3,26%
4	KATUP-01	68	65,91	3,07%

Tabel 4.3 menyajikan data observasi terkait rata-rata kelembaban (dalam persen) pada empat katup berbeda sebelum dan setelah dilakukan modifikasi, serta perbedaan persentase antara kondisi awal dan setelah modifikasi. Katup-07 menunjukkan penurunan kelembaban dari 64,97% pada kondisi awal menjadi 60,13% setelah modifikasi, dengan perbedaan sebesar 7,45%. Katup-06 mengalami penurunan kelembaban dari 74,7% menjadi 62,92%, dengan perbedaan sebesar 15,77%. Katup-05 mencatat penurunan kelembaban dari 62,04% menjadi 60,02% setelah modifikasi, dengan perbedaan sebesar 3,26%. Sementara itu, Katup-01 menunjukkan penurunan kelembaban dari 68% menjadi 65,91%, dengan perbedaan sebesar 3,07%. Analisis ini menunjukkan bahwa Katup-06 mengalami perubahan terbesar dalam kelembaban rata-rata setelah modifikasi, dengan perbedaan sebesar 15,77%.

Tabel 4.4 Perbandingan Data Tekanan pada Ducting

No.	Area Observasi	Rata-rata Tekanan (Pa)		
		Awal	Modifikasi	Perbedaan
1	KATUP-07	100733	100506	0,23%
2	KATUP-06	100991	100698	0,29%
3	KATUP-05	101071	100695	0,37%
4	KATUP-01	101064	100678	0,38%

Tabel 4.4 menyajikan data observasi terkait rata-rata tekanan (dalam Pascal) pada empat katup berbeda sebelum dan setelah dilakukan modifikasi, serta perbedaan persentase antara kondisi awal dan setelah modifikasi. Katup-07 menunjukkan peningkatan tekanan dari 100733 Pa pada kondisi awal menjadi 100506 Pa setelah modifikasi, dengan perbedaan sebesar 0,23%. Katup-06 mengalami penurunan tekanan dari 100991 Pa menjadi 100698 Pa, dengan perbedaan sebesar 0,29%. Katup-05 mencatat penurunan tekanan dari 101071 Pa menjadi 100695 Pa setelah modifikasi, dengan perbedaan sebesar 0,37%. Sementara itu, Katup-01 menunjukkan penurunan tekanan dari 101064 Pa menjadi 100678 Pa, dengan perbedaan terbesar di antara katup lainnya yaitu sebesar 0,38%. Analisis ini menunjukkan bahwa Katup-01 mengalami perubahan terbesar dalam tekanan rata-rata setelah modifikasi, dengan perbedaan sebesar 0,38%.

4.2.2 Perbandingan Data Suhu, Tekanan, Kecepatan dan Kelembaban pada Tiap Ruang di Submersible Vehicle

Tabel 4.5 Perbandingan Data Kecepatan Aliran pada Ruang

No.	Area Observasi	Rata-rata Kecepatan Aliran (m/s)		
		Awal	Modifikasi	Perbedaan
1	R. Baterai A	0,47	0,733	55,96%
2	R. Baterai B	0,311	0,375	20,58%
3	R. Permesinan Bantu	0,968	0,964	0,41%
4	R. Operasi 1	0,0416	0,02928	29,62%
5	R. Operasi 2	0,311	0,2059	33,79%
6	R. Operasi 3	0,0427	0,0299	29,98%
7	R. Permesinan	1,8	1,559	13,39%

Tabel 4.5 menyajikan data observasi terkait rata-rata kecepatan aliran udara (dalam meter per detik) di berbagai area observasi sebelum dan setelah dilakukan modifikasi, serta perbedaan persentase antara kondisi awal dan setelah modifikasi. R. Baterai A menunjukkan peningkatan kecepatan aliran dari 0,47 m/s pada kondisi awal menjadi 0,733 m/s setelah modifikasi, dengan perbedaan sebesar 55,96%. R. Baterai B mengalami peningkatan kecepatan aliran dari 0,311 m/s menjadi 0,375 m/s, dengan perbedaan sebesar 20,58%. R. Permesinan Bantu menunjukkan perubahan kecil dalam kecepatan aliran dari 0,968 m/s menjadi 0,964 m/s, dengan perbedaan sebesar 0,41%. R. Operasi 1 mengalami peningkatan kecepatan aliran dari 0,0416 m/s menjadi 0,02928 m/s, dengan perbedaan sebesar 29,62%. R. Operasi 2 menunjukkan peningkatan kecepatan aliran dari 0,311 m/s menjadi 0,2059 m/s, dengan perbedaan sebesar 33,79%. R. Operasi 3 menunjukkan penurunan kecepatan aliran dari 0,0427 m/s menjadi 0,0299 m/s, dengan perbedaan sebesar 29,98%. R. Permesinan menunjukkan penurunan kecepatan aliran dari 1,8 m/s menjadi 1,559 m/s, dengan perbedaan sebesar 13,39%. Analisis ini menunjukkan bahwa R. Baterai A mengalami perubahan terbesar dalam kecepatan aliran udara setelah modifikasi, dengan perbedaan sebesar 55,96%.

Tabel 4.6 Perbandingan Data Suhu pada Ruang

No.	Area Observasi	Rata-rata Suhu (C)		
		Awal	Modifikasi	Perbedaan
1	R. Baterai A	28,1	29,34	4,41%
2	R. Baterai B	28,8	31,2	8,33%
3	R. Permesinan Bantu	25,5	26,48	3,84%
4	R. Operasi 1	24,2	23,74	1,90%
5	R. Operasi 2	24,23	23,99	0,99%
6	R. Operasi 3	25,6	24,38	4,77%
7	R. Permesinan	39,65	38,41	3,13%

Tabel 4.6 menyajikan data observasi terkait rata-rata suhu (dalam derajat Celsius) di berbagai area observasi sebelum dan setelah dilakukan modifikasi, serta perbedaan persentase antara kondisi awal dan setelah modifikasi. R. Baterai A menunjukkan peningkatan suhu dari 28,1°C pada kondisi awal menjadi 29,34°C setelah modifikasi, dengan perbedaan sebesar 4,41%. R. Baterai B mengalami peningkatan suhu dari 28,8°C menjadi 31,2°C, dengan perbedaan sebesar 8,33%. R. Permesinan Bantu menunjukkan peningkatan suhu dari 25,5°C menjadi 26,48°C, dengan perbedaan sebesar 3,84%. R. Operasi 1 mengalami penurunan suhu dari 24,2°C menjadi 23,74°C, dengan perbedaan sebesar 1,90%. R. Operasi 2 menunjukkan penurunan suhu dari 24,23°C menjadi 23,99°C, dengan perbedaan sebesar 0,99%. R. Operasi 3 menunjukkan penurunan suhu dari 25,6°C menjadi 24,38°C, dengan perbedaan sebesar 4,77%. R. Permesinan mengalami penurunan suhu dari 39,65°C menjadi 38,41°C, dengan perbedaan sebesar 3,13%. Analisis ini menunjukkan bahwa R. Baterai B mengalami perubahan terbesar dalam suhu rata-rata setelah modifikasi, dengan perbedaan sebesar 8,33%.

Tabel 4.7 Perbandingan Data Kelembaban pada Ruangan

No.	Area Observasi	Rata-rata Kelembaban (%)		
		Awal	Modifikasi	Perbedaan
1	R. Baterai A	56,03	55,65	0,68%
2	R. Baterai B	68,93	60,46	12,29%
3	R. Permesinan Bantu	55,06	55,05	0,02%
4	R. Operasi 1	54,35	51,27	5,67%
5	R. Operasi 2	59,74	57,51	3,73%
6	R. Operasi 3	61,09	56,84	6,96%
7	R. Permesinan	49,02	47,48	3,14%

Tabel 4.7 menyajikan data observasi terkait rata-rata kelembaban (dalam persen) di berbagai area observasi sebelum dan setelah dilakukan modifikasi, serta perbedaan persentase antara kondisi awal dan setelah modifikasi. R. Baterai A menunjukkan sedikit penurunan kelembaban dari 56,03% pada kondisi awal menjadi 55,65% setelah modifikasi, dengan perbedaan sebesar 0,68%. R. Baterai B mengalami penurunan kelembaban dari 68,93% menjadi 60,46%, dengan perbedaan terbesar yaitu 12,29%. R. Permesinan Bantu menunjukkan perubahan kelembaban yang sangat kecil dari 55,06% menjadi 55,05%, dengan perbedaan hanya sebesar 0,02%. R. Operasi 1 mengalami penurunan kelembaban dari 54,35% menjadi 51,27%, dengan perbedaan sebesar 5,67%. R. Operasi 2 menunjukkan penurunan kelembaban dari 59,74% menjadi 57,51%, dengan perbedaan sebesar 3,73%. R. Operasi 3 menunjukkan penurunan kelembaban dari 61,09% menjadi 56,84%, dengan perbedaan sebesar 6,96%. R. Permesinan mengalami penurunan kelembaban dari 49,02% menjadi 47,48%, dengan perbedaan sebesar 3,14%. Analisis ini menunjukkan bahwa R. Baterai B mengalami perubahan terbesar dalam kelembaban rata-rata setelah modifikasi, dengan perbedaan sebesar 12,29%.

Tabel 4.8 Perbandingan Data Tekanan pada Ruangan

No.	Area Observasi	Rata-rata Tekanan (Pa)		
		Awal	Modifikasi	Perbedaan
1	R. Baterai A	95980	95768	0,22%
2	R. Baterai B	100977	100456	0,52%
3	R. Permesinan Bantu	93814	93585	0,24%
4	R. Operasi 1	102518	100763	1,71%
5	R. Operasi 2	102513	100758	1,71%
6	R. Operasi 3	102519	100778	1,70%
7	R. Permesinan	96624	96626	0,00%

Tabel 4.8 menyajikan data observasi terkait rata-rata tekanan (dalam Pascal) di berbagai area observasi sebelum dan setelah dilakukan modifikasi, serta perbedaan persentase antara kondisi awal dan setelah modifikasi. R. Baterai A menunjukkan peningkatan tekanan dari 95980 Pa pada kondisi awal menjadi 96126 Pa setelah modifikasi, dengan perbedaan sebesar 0,15%. R. Baterai B mengalami penurunan tekanan dari 101655,6 Pa menjadi 100456 Pa, dengan perbedaan sebesar 1,18%. R. Permesinan Bantu menunjukkan penurunan tekanan dari 93814 Pa menjadi 93585 Pa, dengan perbedaan sebesar 0,24%. R. Operasi 1 mengalami penurunan tekanan dari 102518 Pa menjadi 100763 Pa, dengan perbedaan terbesar yaitu 1,71%. R. Operasi 2 menunjukkan penurunan tekanan dari 102513 Pa menjadi 100758 Pa, juga dengan perbedaan sebesar 1,71%. R. Operasi 3 menunjukkan penurunan tekanan dari 102519 Pa menjadi 100778 Pa, dengan perbedaan sebesar 1,70%. R. Permesinan tidak menunjukkan perubahan tekanan, tetap berada pada 96624 Pa sebelum dan setelah modifikasi, dengan perbedaan 0,00%. Analisis ini menunjukkan bahwa R. Operasi 1 dan R. Operasi 2 mengalami perubahan terbesar dalam tekanan rata-rata setelah modifikasi, masing-masing dengan perbedaan sebesar 1,71%.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan untuk menganalisis perubahan kondisi udara pada badan tekan *submersible vehicle* setelah dilakukan modifikasi dengan menambahkan *flaps* pada *snorkel tank*, berikut ini adalah beberapa kesimpulan yang dapat diambil

- 1) Pada R. Baterai A, kondisi awal menunjukkan kecepatan aliran udara sebesar 0,47 m/s, suhu 28,1°C, kelembaban 56,03%, dan tekanan 95980 Pa. Di R. Baterai B, kecepatan aliran awal adalah 0,311 m/s, suhu 28,8°C, kelembaban 68,93%, dan tekanan 101655,6 Pa. R. Permesinan Bantu memiliki kecepatan aliran awal sebesar 0,968 m/s, suhu 25,5°C, kelembaban 55,06%, dan tekanan 93814 Pa. R. Operasi 1 menunjukkan kecepatan aliran awal 0,0416 m/s, suhu 24,2°C, kelembaban 54,35%, dan tekanan 102518 Pa. Di R. Operasi 2, kecepatan aliran awal adalah 0,311 m/s, suhu 24,23°C, kelembaban 59,74%, dan tekanan 102513 Pa. R. Operasi 3 menunjukkan kecepatan aliran awal sebesar 0,0427 m/s, suhu 25,6°C, kelembaban 61,09%, dan tekanan 102519 Pa. R. Permesinan memiliki kecepatan aliran awal sebesar 1,8 m/s, suhu 39,65°C, kelembaban 49,02%, dan tekanan 96624 Pa.
- 2) Setelah modifikasi, perubahan signifikan teramati pada kondisi udara di berbagai area *submersible vehicle*. R. Baterai A mengalami peningkatan kecepatan aliran udara terbesar sebesar 55,96%, dan suhu naik sebesar 4,41%, sementara tekanan hanya meningkat sedikit sebesar 0,15%, dan kelembaban menurun sebesar 0,68%. R. Baterai B menunjukkan peningkatan kecepatan aliran sebesar 20,58% dan suhu naik 8,33%, tetapi mengalami penurunan kelembaban terbesar sebesar 12,29%, serta tekanan turun 1,18%. R. Permesinan Bantu menunjukkan perubahan kecil dalam kecepatan aliran dan peningkatan suhu sebesar 3,84%, dengan penurunan kelembaban yang sangat kecil sebesar 0,02%, dan tekanan turun 0,24%. R. Operasi 1 mengalami penurunan kecepatan aliran sebesar 29,62%, suhu turun 1,90%, kelembaban turun 5,67%, dan tekanan turun 1,71%. R. Operasi 2 menunjukkan penurunan kecepatan aliran sebesar 33,79%, suhu turun 0,99%, kelembaban turun 3,73%, dan tekanan turun 1,71%. R. Operasi 3 mengalami penurunan kecepatan aliran sebesar 29,98%, suhu turun 4,77%, kelembaban turun 6,96%, dan tekanan turun 1,70%. R. Permesinan menunjukkan penurunan kecepatan aliran sebesar 13,39%, suhu turun 3,13%, kelembaban turun 3,14%, sementara tekanan tetap stabil. Analisis ini menunjukkan bahwa modifikasi memiliki pengaruh yang bervariasi pada setiap parameter lingkungan di tiap ruangan, dengan R. Baterai A mengalami peningkatan terbesar dalam kecepatan aliran udara, R. Baterai B mengalami perubahan terbesar dalam suhu dan kelembaban, serta R. Operasi 1 dan R. Operasi 2 mengalami penurunan terbesar dalam tekanan rata-rata.
- 3) Modifikasi penambahan *flaps* pada *snorkel tank* berpengaruh terhadap penurunan kelembaban di ruang – ruang *submersible vehicle*. Terdapat penurunan kelembaban pada ruang baterai B hingga 12.29%. Untuk ruangan lain terdapat penurunan mulai dari 0,02% hingga 6,96%.

5.2 Saran

Untuk mencapai hasil yang lebih baik dalam penelitian mendatang, penulis memberikan beberapa saran dan rekomendasi berikut.

1. Disarankan agar penelitian selanjutnya menggunakan model yang lebih lengkap, baik dari segi model domain maupun data survei yang diperlukan untuk simulasi. Hal ini akan membuat simulasi lebih valid dan mengurangi kesalahan.
2. Disarankan agar analisis dan penelitian berikutnya melakukan simulasi kondisi udara submersible vehicle dalam mode operasi permukaan. Hal ini penting karena kapal juga beroperasi dan melakukan pengisian daya dalam mode permukaan selama waktu yang cukup lama.

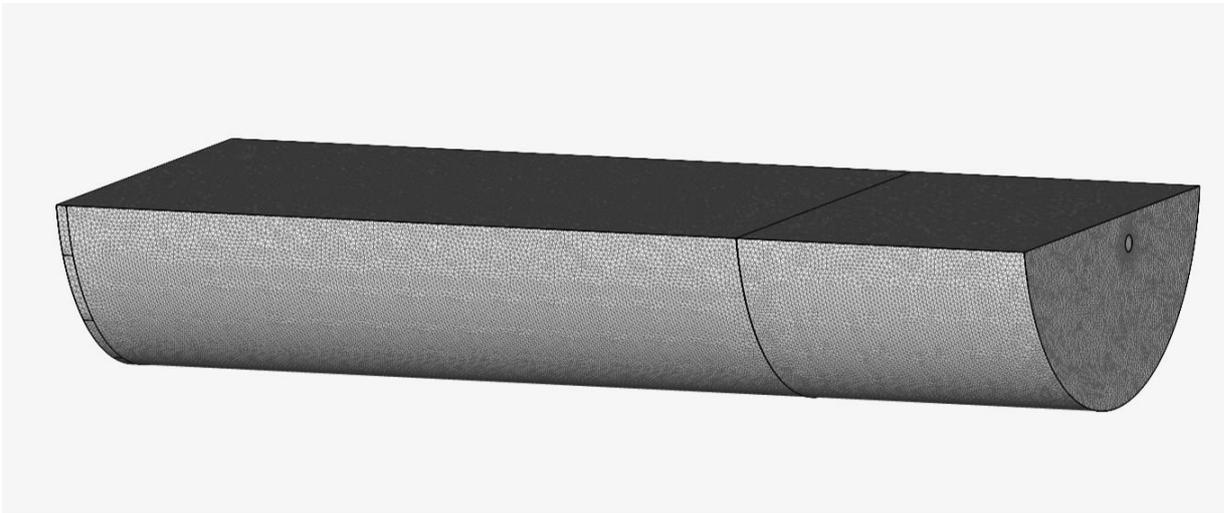
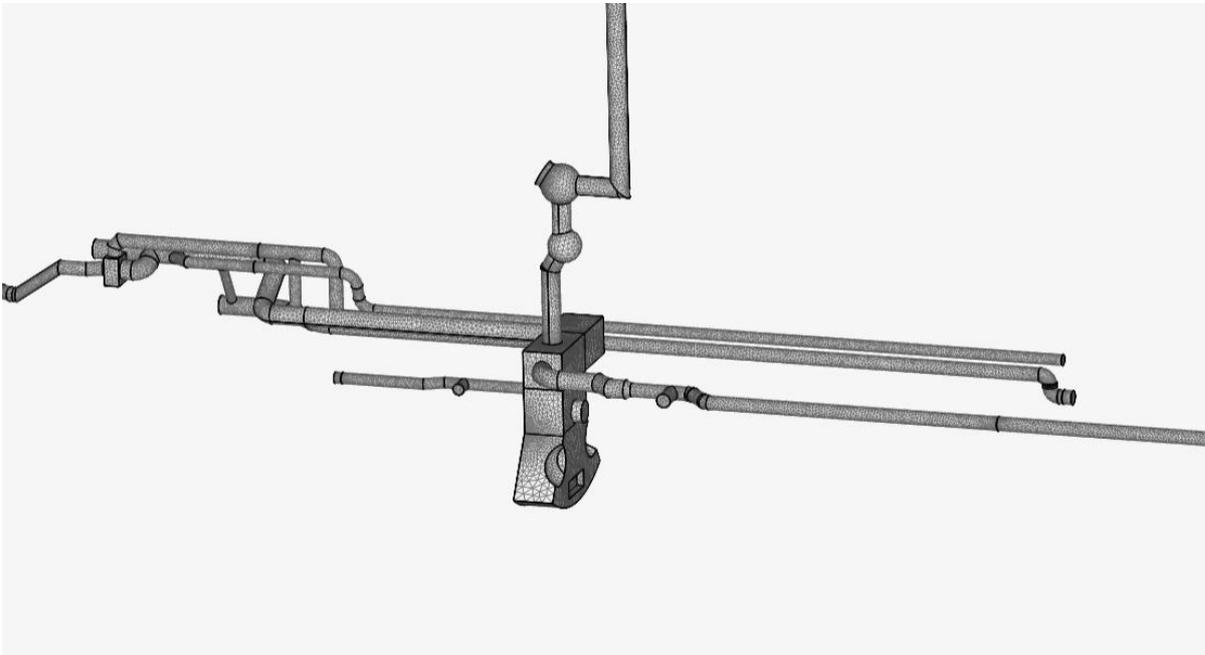
DAFTAR PUSTAKA

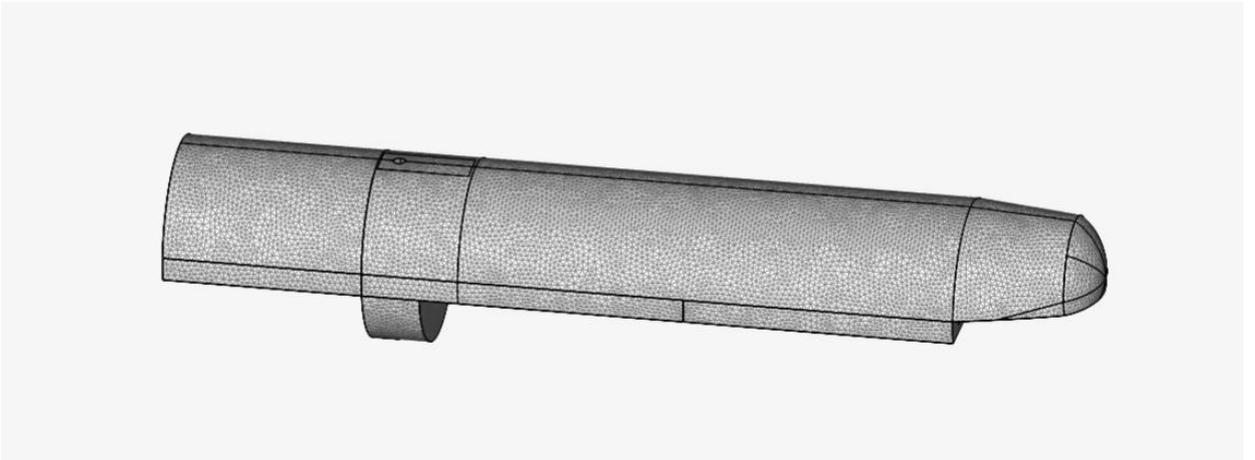
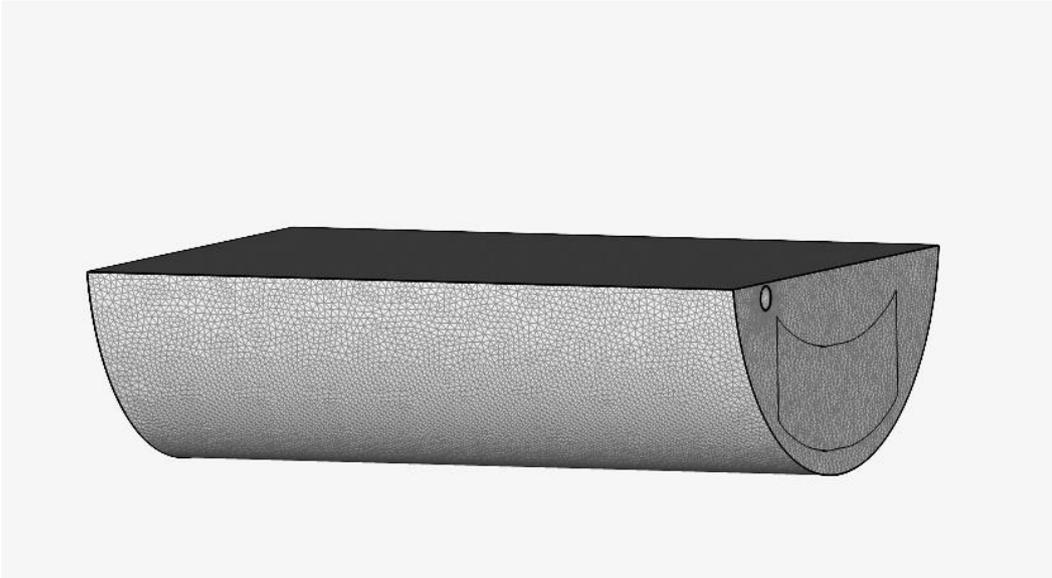
- Buchori, L. (2004). Proses Perpindahan Panas. In B. Luqman, *Buku Ajar Perpindahan Panas Bagian I* (pp. 1-11). Semarang: Universitas Diponegoro.
- Cengel, Y. A. (2002). *Heat Transfer: A Practical Approach*. Boston: McGraw-Hill.
- Cengel, Y. A. (2014). *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications* (3 ed.). New York: McGraw-Hill.
- DNV GL. (2015). Section 4 Design Loads. In D. GL, *Rules for Classification Naval Vessels* (December 2015 ed., Vol. 4, pp. 47-60). Høvik, Norway: DNV GL.
- FEA Tips. (2021, Mei 7). *featips.com/2021/05/07/how-to-verify-mesh-quality-in-ansys-workbench/*. Diambil kembali dari featips.com: https://featips.com/wp-content/uploads/2021/05/Mesh-Intro_16.0_L07_Mesh_Quality_and_Advanced_Topics.pdf
- Incropera, F. P., Dewitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2007). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. John Wiley & Sons, Inc.
- International Standard Organization. (1998). ISO 8661. Switzerland: International Organization for Standardization.
- John D. Anderson, J. (1995). *Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications*. New York: McGraw-Hill.
- Juliawati, T. M. (2018). UPAYA INDONESIA DALAM MEWUJUDKAN KEAMANAN MARITIM PADA MASA PEMERINTAHAN JOKO WIDODO. *eJournal Ilmu Hubungan Internasional*, 6(3), 1389-1404. Retrieved from <https://ejournal.hi.fisip-ummul.ac.id/site/?p=2693>
- Latif, S., Hamzah, B., & Ihsan, I. (2016). Pengaliran Udara untuk Kenyamanan Termal Ruang Kelas dengan Metode Simulasi Computational Fluid Dynamics. *Sinektika: Jurnal Arsitektur*, 209-216.
- Minz, P. S. (2014). *Fluid Mechanics*. Karnal: National Dairy Research Institute.
- Muhammad, I. T. (2018). *PENGARUH MENURUNNYA TEKANAN UDARA BILAS PADA KERJA MESIN INDUK DI KM.CIREMAI*. Retrieved 6 11, 2022, from <http://repository.pip-semarang.ac.id/1024>
- Nainggolan, P. P. (2016). *INDONESIA DAN ANCAMAN KEAMANAN DI ALUR LAUT KEPULAUAN INDONESIA (ALKI)*. Retrieved 6 11, 2022, from <https://jurnal.dpr.go.id/index.php/kajian/article/view/624>
- Pramono, J. N. (2019). *ANALISA SISTEM VENTILASI UDARA DI RUANG KAMAR MESIN KRI KAKAP-811 PASCA REPOWERING*. Surabaya: Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut.
- Rosyadi, R. (2018). *KEBIJAKAN INDONESIA MENINGKATKAN KEAMANAN LAUT DALAM KASUS PENYANDERAAN WARGA NEGARA INDONESIA (WNI) OLEH KELOMPOK ABU SAYYAF PADA TAHUN 2016*. Yogyakarta: UMY Repository. Retrieved from <http://repository.umy.ac.id/handle/123456789/19400>

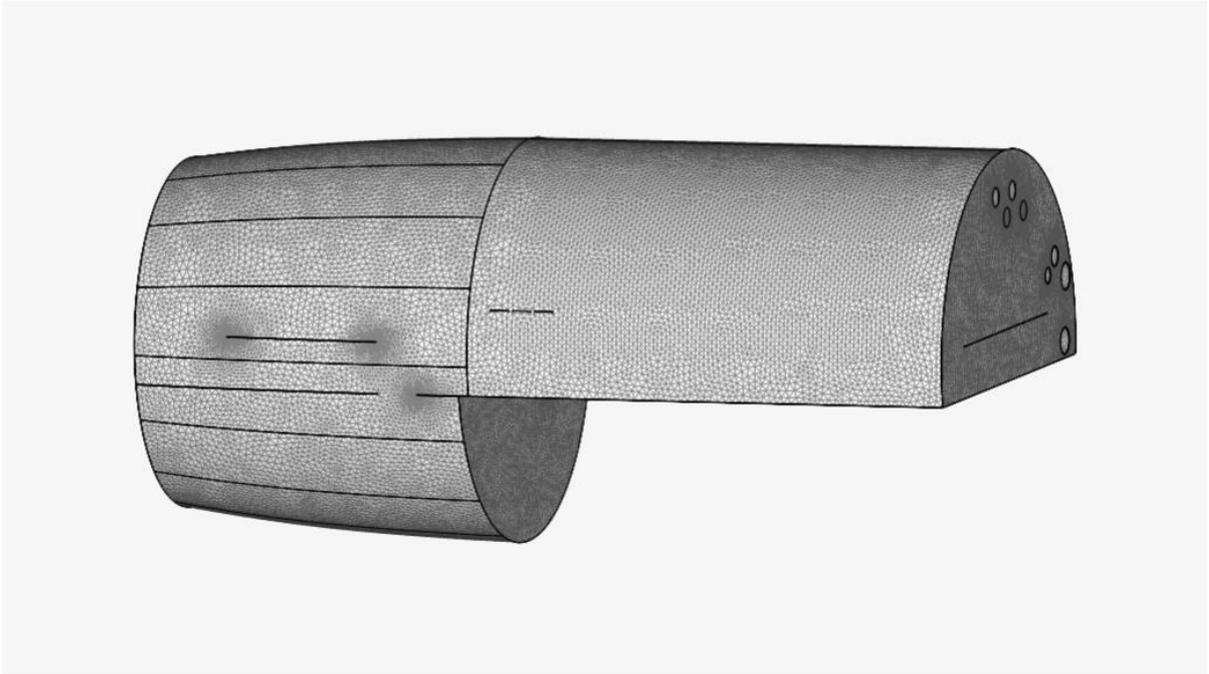
- Stoecker, W. F. (1989). [*Refrigeration and Air Conditioning. Bah. Indonesia*] *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Jakarta Timur: Erlangga.
- Sutrisno, Shobi, N., & Arief, I. S. (2017). ALIRAN UDARA DI KAMAR MESIN PADA KRI OSWALD SIAHAAN-354 DENGAN PENDEKATAN CFD (COMPUTATIONAL FLUIDS DYNAMICS). *JOURNAL ASRO*, 1-11.
- Utomo, B. (2007). Sistem Ventilasi dalam Kapal. *Teknik*, 28(1), 76-82.
- W.C, R. H. (1983). *Termodinamika Teknik*. Jakarta Pusat: Erlangga.
- Walker, J. (2014). *Fundamentals of Physics*. John Wiley & Sons, Inc

LAMPIRAN

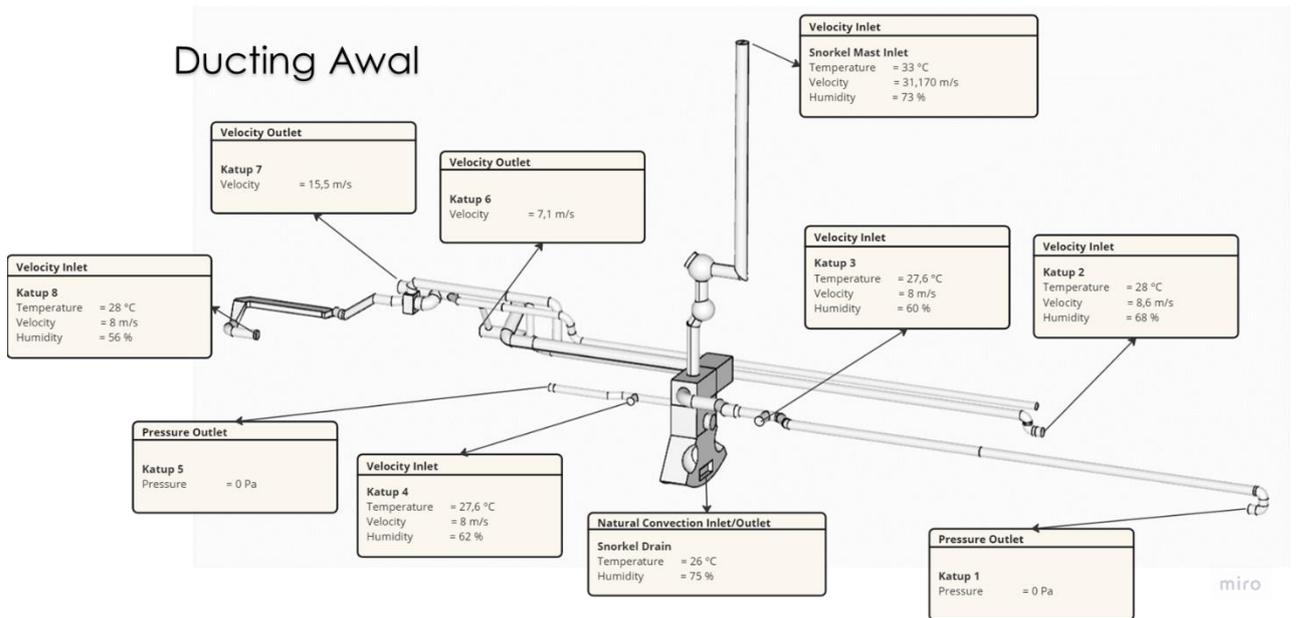
Hasil Meshing tiap domain



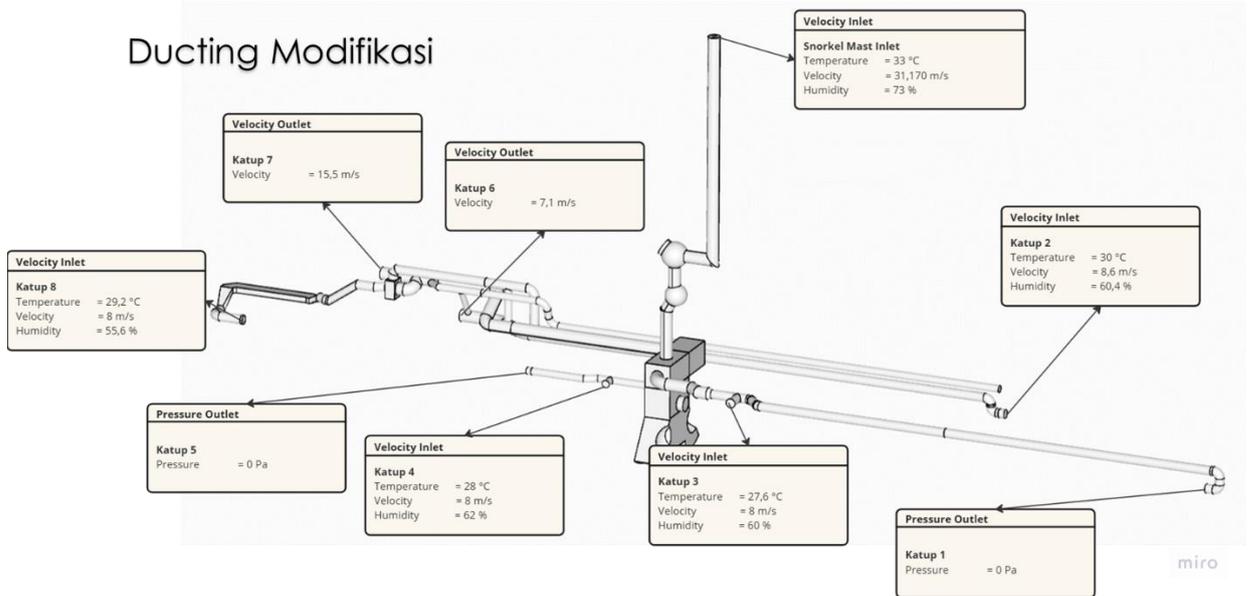




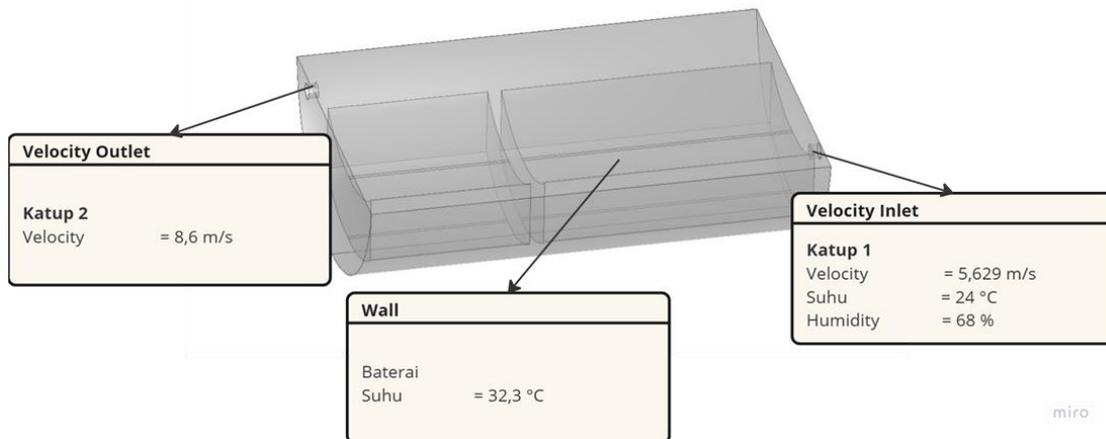
Boundary Condition



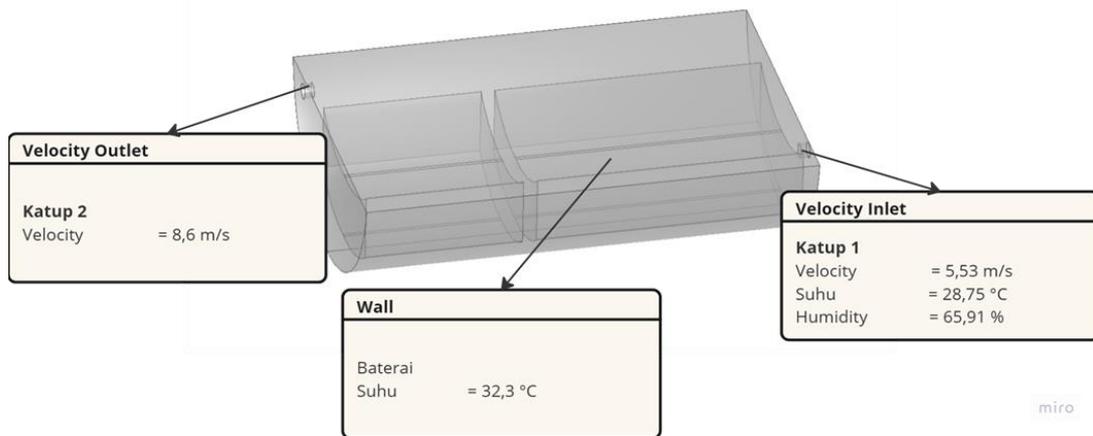
Ducting Modifikasi



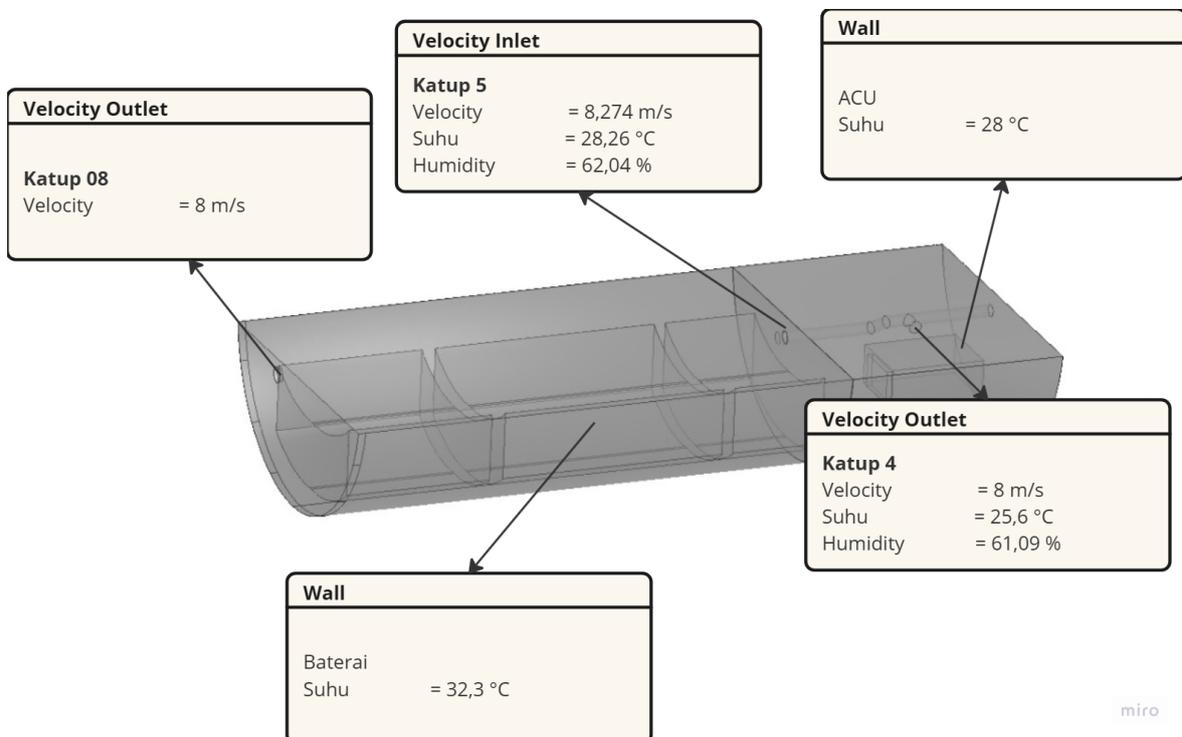
Baterai Room B Awal



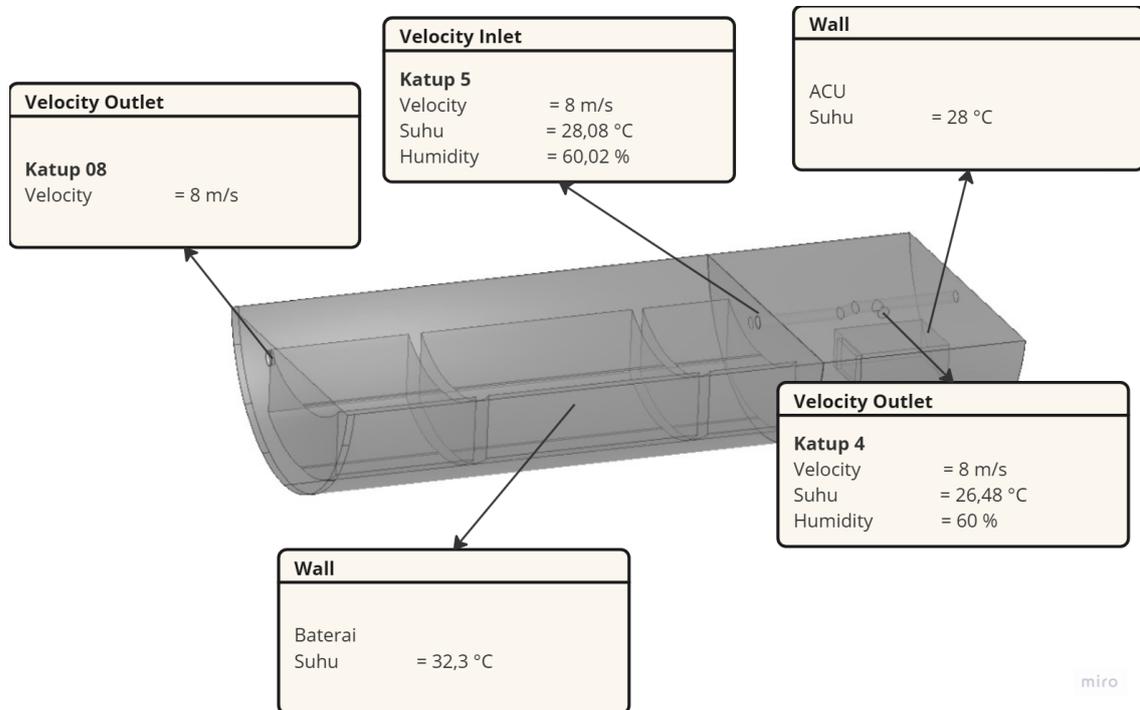
Baterai Room B Modifikasi



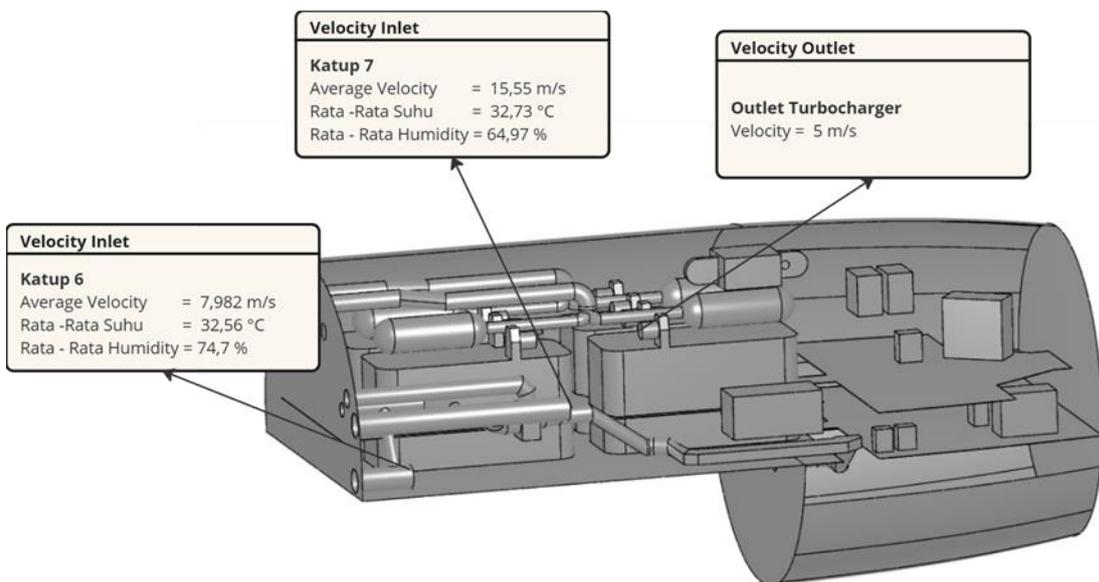
Baterai Room A Awal



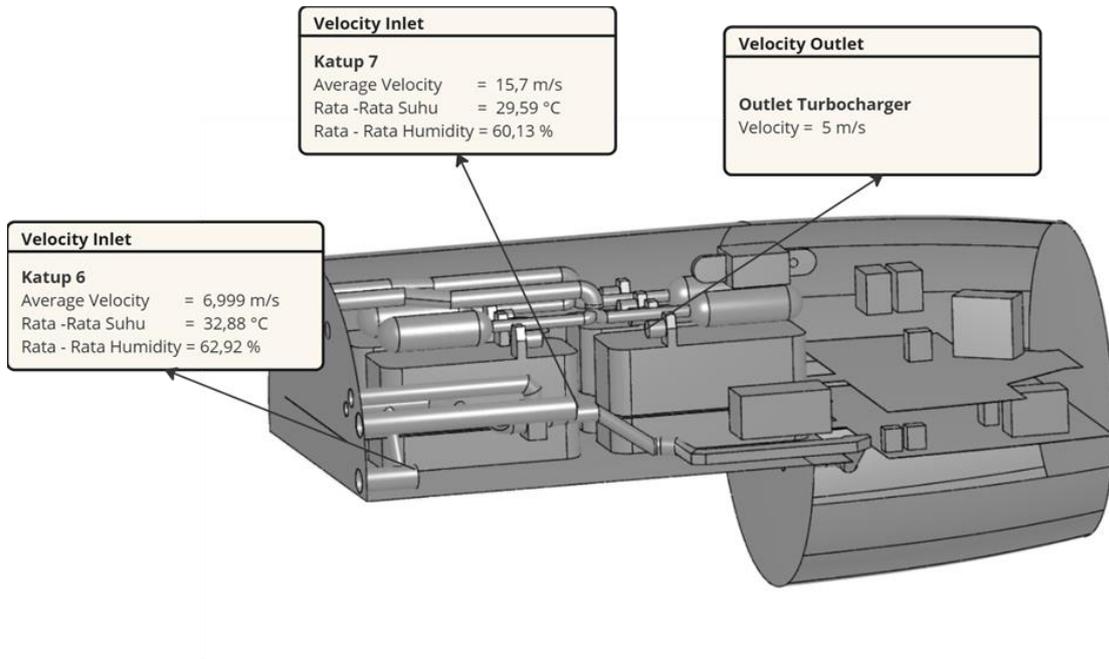
Baterai Room A Modifikasi



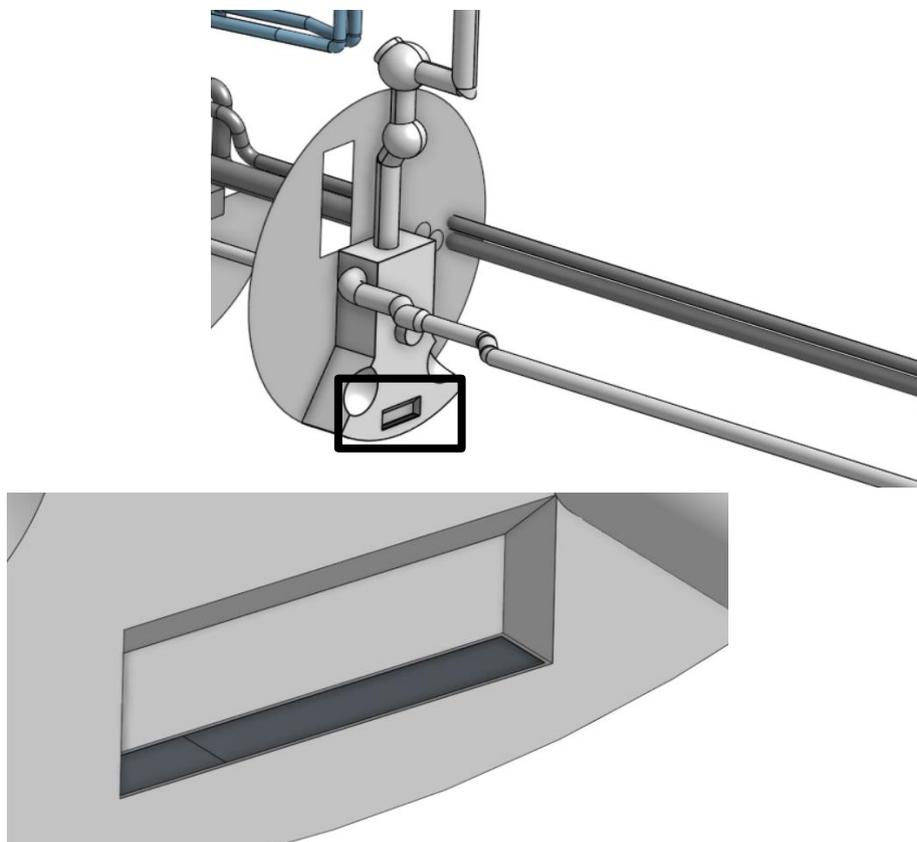
Kamar Mesin Awal

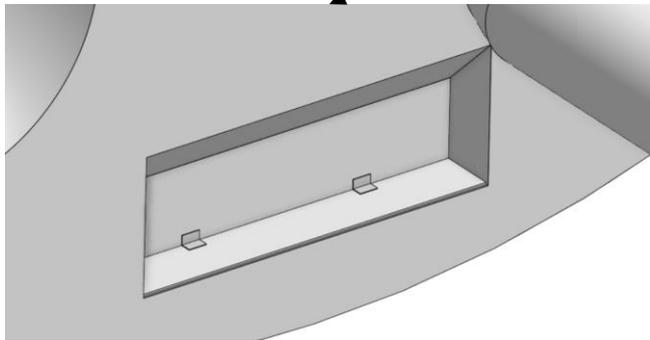
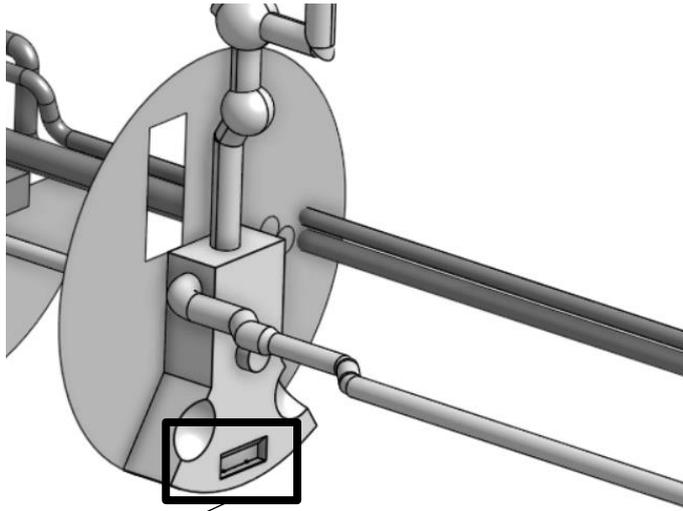


Kamar Mesin Modifikasi



Gambar Sebelum dan Sesudah Adanya Snorkel Flap





BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Bandung, 4 Desember 2001. Penulis adalah anak kedua dari pasangan Bapak Muksin dan Ibu Sugiarti. Penulis mengawali pendidikan dasar di SD Negeri Baros Mandiri 4 pada 2008-2014. Selanjutnya penulis menempuh sekolah menengah pertama di SMP Negeri 1 Cimahi pada 2014-2017, kemudian melanjutkan sekolah menengah atas di SMA Negeri 2 Cimahi pada 2017-2020. Pada tahun 2020, penulis diterima di Fakultas Teknik Kelautan, Program Studi Teknik Sistem Perkapalan, ITS melalui jalur SNMPTN.

Pengalaman penulis selama berkuliah adalah menjadi bagian dari tim ITS Marine Solar Boat Team pada 2021-2023, Nawasena ITS Team pada 2022-2024, penulis juga aktif di Marine Manufacturing & Design Laboratory ITS sebagai Ketua Laboratorium pada 2023-2024. Selama menjalani perkuliahan, penulis menjuarai beberapa lomba kancah nasional maupun internasional yaitu salah satunya tergabung dalam Nawasena ITS Team meraih juara harapan 5 pada lomba KKCTBN 2022 & juara 1 pada lomba WFSA International Student Design Competition 2024.