

**TUGAS AKHIR - TM234802**

**STUDI NUMERIK VENTILASI RUANG MESIN KAPAL  
KELAS *LANDING SHIP TANK* UNTUK MENGURANGI  
*HEAT STRESS* DENGAN PENDEKATAN  
*COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC***

**GALIH KENCANA**

**NRP 5007201210**

Dosen Pembimbing

**Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.**

**NIP 197104051997021001**

**Program Studi Sarjana**

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2024





**TUGAS AKHIR - TM234802**

**STUDI NUMERIK VENTILASI RUANG MESIN KAPAL  
KELAS *LANDING SHIP TANK* UNTUK MENGURANGI  
*HEAT STRESS* DENGAN PENDEKATAN  
*COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC***

**GALIH KENCANA**

NRP 5007201210

Dosen Pembimbing

**Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.**

NIP 197104051997021001

**Program Studi Sarjana**

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2024





**FINAL PROJECT - TM234702**

**NUMERICAL STUDY OF LANDING SHIP TANK CLASS  
MACHINE ROOM VENTILATION TO REDUCE HEAT  
STRESS USING A COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC  
APPROACH**

**GALIH KENCANA**

**NRP 5007201210**

Advisor

**Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.**

**NIP 197104051997021001**

**Undergraduate Study Program**

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Industrial and System Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2024







# LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI NUMERIK VENTILASI RUANG MESIN KAPAL KELAS *LANDING SHIP*  
TANK UNTUK MENGURANGI *HEAT STRESS* DENGAN PENDEKATAN  
*COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi S-1 Teknik Mesin  
Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Galih Kencana**  
NRP. 5007201210

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- |  |            |
|--|------------|
| 1. Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.            | Pembimbing |
| 2. Nur Ikhwan, ST, MEng, IPM, AEng               | Penguji    |
| 3. Prof. Dr. Ir. Tri Yogi Yuwono, DEA, IPU, AEng | Penguji    |
| 4. Prof. Dr. Ing. Ir. Herman Sasongko            | Penguji    |



SURABAYA  
Agustus, 2024

*Halaman ini Sengaja Dikosongkan*

# APPROVAL SHEET

## NUMERICAL STUDY OF LANDING SHIP TANK CLASS MACHINE ROOM VENTILATION TO REDUCE HEAT STRESS USING A COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC APPROACH

### FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements  
to obtain a Bachelor of Engineering degree at  
Undergraduate Study Program, Department of Mechanical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Sepuluh Nopember Institute of Technology

By:

**Galih Kencana**

NRP. 5007201210

Approved by Final Project Examiner Team:

- |  |          |
|--|----------|
| 1. Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.            | Advisor  |
| 2. Nur Ikhwan, ST, MEng, IPM, AEng               | Examiner |
| 3. Prof. Dr. Ir. Tri Yogi Yuwono, DEA, IPU, AEng | Examiner |
| 4. Prof. Dr. Ing. Ir. Herman Sasongko            | Examiner |



**SURABAYA**

August, 2024

*Halaman ini Sengaja Dikosongkan*

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Galih Kencana / 5007201210  
Program studi : SI-Teknik Mesin  
Dosen Pembimbing / : Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T. / 197104051997021001  
NIP

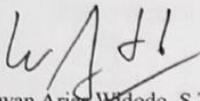
dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "Studi Numerik Ventilasi Ruang Mesin Kapal Kelas *Landing Ship Tank* untuk Mengurangi *Heat Stress* dengan Pendekatan *Computational Fluid Dynamic*" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

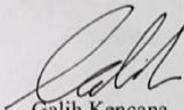
Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 1 Agustus 2024

Mengetahui  
Dosen Pembimbing

Mahasiswa

  
Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.  
NIP. 198105292003122001

  
Galih Kencana  
NRP. 5007201210

*Halaman ini Sengaja Dikosongkan*

## ABSTRAK

### STUDI NUMERIK VENTILASI RUANG MESIN KAPAL KELAS *LANDING SHIP TANK* UNTUK MENGURANGI *HEAT STRESS* DENGAN PENDEKATAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC*

**Nama Mahasiswa / NRP** : Galih Kencana / 5007201210  
**Departemen** : Teknik Mesin FTIRS - ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.

#### Abstrak

Pada ruang mesin terdapat komponen-komponen yang menggerakkan kapal yang dapat mengeluarkan panas ketika beroperasi. Paparan panas yang berlebihan dapat menyebabkan heat stress pada awak kapal. Dengan sistem ventilasi udara yang ada saat ini, temperatur pada ruang mesin kapal kelas Landing Ship Tank (LST) mencapai 33-45°C. Oleh karena itu, diperlukan perancangan desain modifikasi sistem ventilasi udara pada ruang mesin kapal agar kondisi udara yang ada sesuai dengan standar. Untuk itu perlu dilakukan penambahan suplai udara, akan tetapi hal itu akan menambah penggunaan daya listrik, sementara ketersediaan daya listrik di kapal terbatas. Oleh karena itu, penambahan kapasitas blower harus disesuaikan dengan kebutuhan agar kebutuhan ventilasi terpenuhi dengan daya listrik yang tersedia.

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis mengenai kondisi udara di dalam ruang mesin kapal yang meliputi temperatur, kecepatan udara, dan tekanan. Dimana penelitian kali ini akan dilakukan analisis menggunakan Ansys Fluent 2023 R2 pada beban mesin kapal 100%, dengan kondisi yang dianalisa adalah kondisi desain dan modifikasi. Dengan modifikasi desain yang pertama yaitu dengan menambah kapasitas blower ventilasi udara pada ruang mesin, dimana berdasarkan perhitungan kebutuhan suplai udara pada ruang mesin, kapasitas blower yang ada kurang memadai dan pada setiap blower dibutuhkan suplai udara sebesar 53479 cmh. Desain modifikasi yang kedua yaitu dengan menambahkan exhaust fan pada outlet ruang mesin, untuk membantu menghisap udara panas yang ada di dalam ruang mesin. Desain modifikasi yang ketiga yaitu dengan menambahkan kapasitas blower dan menambahkan exhaust fan pada outlet ruang mesin.

Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa dengan menggunakan desain modifikasi sistem ventilasi yang pertama dan ketiga berhasil menurunkan temperatur ruang mesin kapal menjadi 41,3°C dan 41,6°C. Daerah pada ruang mesin dengan temperatur diatas 45°C juga berkurang pada modifikasi sistem ventilasi yang pertama dan ketiga. Dengan berkurangnya daerah yang memiliki temperatur tinggi, maka risiko heat stress yang dapat dialami oleh awak kapal dapat berkurang dan mencegah panas yang berlebihan pada peralatan di ruang mesin.

**Kata kunci:** *Computational Fluid Dynamic, Heat Stress, Ruang Mesin.*

*Halaman ini Sengaja Dikosongkan*

## **ABSTRACT**

### **NUMERICAL STUDY OF LANDING SHIP TANK CLASS MACHINE ROOM VENTILATION TO REDUCE HEAT STRESS USING A COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC APPROACH**

**Student Name / NRP** : Galih Kencana / 5007201210  
**Department** : Teknik Mesin FTIRS – ITS  
**Advisor** : Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.

#### **Abstract**

In the engine room there are components that move the ship that can emit heat when operating. Excessive heat exposure can cause heat stress in the crew. With the current air ventilation system, the temperature in the engine room of the Landing Ship Tank (LST) class ship reaches 33-45°C. Therefore, it is necessary to design a modification design of the air ventilation system in the ship's engine room so that the existing air conditions are in accordance with standards. For this reason, it is necessary to add air supply, but this will increase the use of electricity, while the availability of electricity on the ship is limited. Therefore, the addition of blower capacity must be adjusted to the needs so that ventilation needs are met with the available electricity.

In this study, an analysis will be carried out on the air conditions in the ship's engine room which include temperature, air speed, and pressure. Where this study will be analyzed using Ansys Fluent 2023 R2 at 100% ship engine load, with the conditions analyzed being design and modification conditions. With the first design modification, namely by increasing the capacity of the air ventilation blower in the engine room, where based on the calculation of the air supply requirements in the engine room, the existing blower capacity is inadequate and each blower requires an air supply of 53479 cmh. The second design modification is by adding an exhaust fan to the engine room outlet, to help suck the hot air in the engine room. The third design modification is by adding blower capacity and adding an exhaust fan to the engine room outlet.

The results of the research that has been carried out show that by using the first and third ventilation system modification designs, the temperature of the ship's engine room was successfully reduced to 41.3°C and 41.6°C. The area in the engine room with a temperature above 45°C was also reduced in the first and third ventilation system modifications. By reducing areas with high temperatures, the risk of heat stress that can be experienced by the crew can be reduced and prevent excessive heat on the equipment in the engine room.

**Keywords:** Engine Room, Computational Fluid Dynamic, Heat Stress.

*Halaman ini Sengaja Dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "Studi Numerik Ventilasi Ruang Mesin Kapal Kelas Landing Ship Tank untuk Mengurangi Heat Stress dengan Pendekatan Computational Fluid Dynamic" sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin FT-IRS ITS. Penulis ingin mengucapkan terima kasih banyak kepada seluruh pihak yang senantiasa membantu penulis dalam menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua Orang Tua Penulis, Bapak Edi Tatang Saifulah dan Ibu Suprapti dan Kakak Penulis Indra Prawira yang telah memberikan dukungan dan doa kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T., IPM, AEng selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah memberikan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing penulis menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Prof. Dr. Ir. Tri Yogi Yuwono, DEA, IPU, AEng, Nur Ikhwan, ST, MEng, IPM, AEng dan Prof. Dr. Ing. Ir. Herman Sasongko selaku dosen penguji tugas akhir yang telah memberikan saran dan evaluasi dalam penyempurnaan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Anton Nugroho yang telah membantu penulis mengerjakan Tugas Akhir ini.
5. Delia Salsabila Sri Putri yang menemani dan membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Shafira Melati Khusna, Adi Aryndra Sambodo, Bhagas Yogadharaka, Yuma Ardisya Akbar, Fajrul Falah, dan Muhammad Helmi Baraja yang telah menemani penulis dan menjadi teman diskusi selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
7. Keluarga Besar M63.
8. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu oleh penulis.

Penulis menyadari ada banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Penulis memohon maaf atas kekurangan dalam penulisan Tugas akhir ini dan Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat.

Surabaya, Agustus 2024

Penulis,

*Halaman ini Sengaja Dikosongkan*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iv
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	viii
KATA PENGANTAR .....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Spesifikasi Kapal .....	5
2.2 Ruang Mesin Kapal .....	8
2.3 Emisi Panas dari Peralatan Ruang Mesin .....	5
2.4 Kalor yang Dikeluarkan Tubuh Manusia .....	6
2.5 Tekanan Udara Pada Ruangan.....	7
2.6 <i>Heat Stress</i> dan <i>Heat Stroke</i> .....	7
2.7 Standar Ventilasi Ruang Mesin .....	8
2.2.1 Standar Internasional Ventilasi Ruang Mesin Pada Mesin Diesel Kapal .....	9
2.2.2 Biro Klasifikasi Indonesia.....	11
2.2.3 Rekomendasi Saluran Ventilasi Ruang Mesin .....	11
2.8 Hasil Penelitian Terdahulu .....	15
2.8.1 Analisa Ventilasi Ruang Mesin Menggunakan <i>Computational Fluid Dynamics</i> dengan Variasi Kecepatan <i>Inlet</i> .....	15
2.8.2 Analisis Aliran Udara pada Ruang Mesin Kapal Kelas Frigate dengan Pendekatan CFD ( <i>Computational Fluids Dynamics</i> ).....	17
2.8.3 Studi Simulasi CFD Tiga Dimensi Untuk Mengurangi Tekanan Panas Di Kapal .....	20
BAB III METODOLOGI.....	22

3.1	Studi Numerik .....	22
3.2	Tahap <i>Pre-Processing</i> .....	22
3.3	Tahap Processing .....	25
3.4	Tahap <i>Post-Processing</i> .....	28
3.5	<i>Grid Independency Test (GIT)</i> .....	30
3.6	Validasi .....	31
3.7	Diagram Alir Penelitian .....	33
3.8	Jadwal Kegiatan .....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		35
4.1	Distribusi Kecepatan Udara Pada Ruang Mesin .....	35
4.2	Distribusi Temperatur Udara Pada Ruang Mesin .....	38
4.3	Distribusi Tekanan Udara Pada Ruang Mesin .....	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		49
5.1	Kesimpulan .....	49
5.2	Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA.....		50
LAMPIRAN .....		52
BIODATA PENULIS.....		73

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Denah Ruang Mesin Kapal Kelas Landing Ship Tank (LST).....	9
<b>Gambar 2. 2</b> Ventilasi Tipe 1 .....	13
<b>Gambar 2. 3</b> Ventilasi Tipe 2 .....	13
<b>Gambar 2. 4</b> Ventilasi Tipe 3 .....	14
<b>Gambar 2. 5</b> Ventilasi Tipe 4 .....	14
<b>Gambar 2. 6</b> Aliran Udara yang Salah .....	15
<b>Gambar 2. 7</b> Aliran Udara Pada Ruang Mesin.....	15
<b>Gambar 2. 8</b> Geometri Kamar Mesin Kapal Tanker 6500 DWT.....	16
<b>Gambar 2. 9</b> Hasil Simulasi Suhu Rata-rata pada Setiap Bidang dengan Luas <i>Exhaust Funnel</i> Tetap .....	17
<b>Gambar 2. 10</b> Desain Saluran Udara Saat Ini .....	18
<b>Gambar 2. 11</b> Desain Saluran Udara dengan 6 Duct <i>Outlet</i> .....	18
<b>Gambar 2. 12</b> Desain Saluran Udara dengan 12 Duct <i>Outlet</i> .....	19
<b>Gambar 2. 13</b> Kondisi Temperatur Hasil Simulasi Ruang Mesin Kapal Kelas Frigate .....	19
<b>Gambar 2. 14</b> Temperatur Udara Pada Ruang Mesin .....	20
<b>Gambar 2. 15</b> Waktu Maksimal Pada Setiap Tugas yang Dilakukan .....	21
<b>Gambar 3. 1</b> Geometri Ruang Mesin Kapal Kelas Landing Ship Tank (LST).....	22
<b>Gambar 3. 2</b> Posisi Inlet dan <i>Outlet</i> Ventilasi Ruang Mesin .....	23
<b>Gambar 3. 3</b> Posisi Perlatan dan Awak Kapal Ruang Mesin.....	23
<b>Gambar 3. 4</b> Tampak Atas Hasil Meshing .....	24
<b>Gambar 3. 5</b> Detail Hasil Meshing .....	25
<b>Gambar 3. 6</b> Lokasi Titik Pengamatan Ruang Mesin .....	29
<b>Gambar 3. 7</b> Bidang Kontur X/L .....	30
<b>Gambar 3. 8</b> Bidang Kontur Y/H.....	30
<b>Gambar 3. 9</b> Bidang Kontur Z/W.....	30
<b>Gambar 3. 10</b> Grafik <i>Grid Independency Test</i> .....	31
<b>Gambar 3. 11</b> Grafik Perbandingan Hasil Data Acuan dan Data Simulasi.....	32
<b>Gambar 3. 12</b> Diagram Alir Penelitian .....	33
<b>Gambar 4.1</b> Kontur Kecepatan Pada Bidang Y/H=0.38 .....	36
<b>Gambar 4.2</b> <i>Velocity Pathline</i> untuk Aliran Udara dari <i>Inlet</i> 5 dan 14 pada Variasi 1.....	36
<b>Gambar 4.3</b> <i>Velocity Pathline</i> untuk Aliran Udara dari <i>Inlet</i> 5 dan 14 pada Variasi 2.....	37
<b>Gambar 4.4</b> Aliran Udara Dari Inlet 5 Dan 14 Pada Variasi 3 .....	37
<b>Gambar 4.5</b> Aliran Udara Dari Inlet 5 Dan 14 Pada Variasi 4 .....	38
<b>Gambar 4.6</b> Kontur Temperatur Pada Bidang X/L=0.29.....	39
<b>Gambar 4.7</b> Kontur Temperatur Pada Bidang Y/H=0.22 .....	40
<b>Gambar 4.8</b> Kontur Temperatur Diatas 45°C .....	42
<b>Gambar 4.9</b> Kontur Temperatur Diatas 47,5°C .....	43
<b>Gambar 4.10</b> Kontur Temperatur Diatas 49°C .....	43
<b>Gambar 4.11</b> Kontur Temperatur pada Bidang Z6=11.4m.....	44
<b>Gambar 4.12</b> Temperatur Rata-Rata Pada Bidang Kontur X/L.....	45
<b>Gambar 4.13</b> Temperatur Rata-Rata Pada Bidang Kontur Y/H.....	45
<b>Gambar 4.14</b> Temperatur Rata-Rata Pada Bidang Kontur Z/W .....	45
<b>Gambar 4.15</b> Temperatur Rata-Rata Pada Ruang Mesin Kapal .....	46

<b>Gambar 4.16</b> Kontur Tekanan Pada Bidang $Y1=1m$ .....	47
<b>Gambar 4.17</b> Tekanan Udara Rata-Rata Pada Ruang Mesin Kapal .....	48

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Data Kapal dan Permesinan Kapal Kelas Landing Ship Tank (LST).....	5
<b>Tabel 2. 2</b> Laju Metabolisme Manusia Ketika Beraktivitas .....	6
<b>Tabel 2. 3</b> Boundary Condition Kamar Mesin Kapal Tanker 6500 DWT .....	16
<b>Tabel 2. 4</b> Pengaturan Fluent yang Digunakan pada Simulasi .....	16
<b>Tabel 2. 5</b> Variasi <i>Air Changes per Hour</i> .....	16
<b>Tabel 2. 6</b> Variasi Jumlah <i>Outlet Duct</i> dan <i>Blower Capacity</i> .....	17
<b>Tabel 2. 7</b> Komponen Ruang Mesin Kapal Kelas Frigate .....	18
<b>Tabel 2. 8</b> Rangkuman Penelitian Terdahulu.....	21
<b>Tabel 3. 1</b> Model Turbulensi.....	25
<b>Tabel 3. 2</b> Boundary Condition Ruang Mesin untuk Kapasitas <i>Blower</i> 40000 cmh .....	26
<b>Tabel 3. 3</b> Boundary Condition Ruang Mesin untuk Kapasitas <i>Blower</i> 53479 cmh .....	26
<b>Tabel 3. 4</b> <i>Boundary Condition</i> Ducting Ventilasi dan <i>Outlet</i> Ruang Mesin .....	27
<b>Tabel 3. 5</b> Konfigurasi pada Solution Method.....	28
<b>Tabel 3. 6</b> Titik Pengamatan Ruang Mesin.....	28
<b>Tabel 3. 7</b> Posisi Bidang Kontur X/L.....	29
<b>Tabel 3. 8</b> Posisi Bidang Kontur Y/H .....	29
<b>Tabel 3. 9</b> Posisi Bidang Kontur Z/W.....	29
<b>Tabel 3. 10</b> Hasil <i>Grid Independency Test</i> .....	31
<b>Tabel 3. 11</b> Perbandingan Hasil Data Acuan dan Data Simulasi.....	32
<b>Tabel 3. 12</b> Jadwal Kegiatan.....	34
<b>Tabel 4.1</b> Temperatur Rata-Rata Pada Bidang X/L .....	39
<b>Tabel 4.2</b> Temperatur Rata-Rata Pada Bidang Y/H.....	40
<b>Tabel 4.3</b> Temperatur Rata-Rata pada Bidang Z/W .....	44
<b>Tabel 4.4</b> Tekanan Udara Setiap Variasi Pada Bidang Kontur X/L .....	47
<b>Tabel 4.5</b> Tekanan Udara Setiap Variasi Pada Bidang Kontur Y/H.....	47
<b>Tabel 4.6</b> Tekanan Udara Setiap Variasi Pada Bidang Kontur Z/W .....	47



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki luas 5.800.000 km<sup>2</sup> yang 80% wilayahnya berupa laut, dimana terdapat 17.504 pulau yang berjajar diantaranya, dengan garis pantai sepanjang 80.791 km [11]. Indonesia memiliki kekayaan alam yang melimpah, terutama kekayaan alam yang ada di laut, seperti ikan, terumbu karang, minyak bumi maupun gas alam. Dengan luasnya wilayah perairan Indonesia, kita dihadapkan dengan berbagai ancaman yang datang dari jalur laut seperti penangkapan ikan secara ilegal, perusakan terumbu karang, perdagangan manusia, maupun perdagangan narkoba. Berdasarkan data Pusat Data, Statistik dan Informasi, pada tahun 2021 terdapat 183 kapal yang ditangkap di perairan Indonesia. Untuk menjaga kedaulatan wilayah perairan Indonesia dibutuhkan peran dari Tentara Nasional Indonesia khususnya Angkatan Laut.

Dalam menjalankan tugasnya untuk menjaga kedaulatan Indonesia, TNI AL memerlukan alutsista berupa kapal. Semua kapal perang TNI Angkatan Laut didahului dengan inisial KRI yang berarti Kapal Perang Republik Indonesia. TNI AL memiliki 6 kapal perang jenis Fregat, 25 kapal perang jenis Korvet serta berbagai kelas dan jenis lainnya, seperti kapal cepat rudal, kapal LPD, kapal LST, kapal selam dan kapal patroli, dan ini belum termasuk 2 Kapal layar tiang tinggi yang ada di TNI AL, serta beberapa jenis kapal lainnya dan beberapa kapal yang masih dalam tahap pembangunan. Salah satu jenis kapal yang disebutkan sebelumnya adalah LST atau Landing Ship Tank, kapal ini memiliki kemampuan khusus untuk mengangkut dan mengerahkan pasukan, kendaraan, dan perbekalan ke pantai daerah operasi.

Untuk menyesuaikan dengan kebutuhan, kapal kelas LST ini memiliki tiga mode operasional main engine, yaitu mode kecepatan ekonomis (pembebanan mesin 50%) dengan kecepatan 12 knots, mode kecepatan jelajah (pembebanan mesin 75%) dengan kecepatan 14 knots dan mode kecepatan penuh (pembebanan 100%) yaitu dalam mode siaga tempur dengan kecepatan 16 knots. Dimana ketika kecepatan kapal meningkat, maka beban mesin juga akan meningkat. Peningkatan beban mesin ini akan meningkatkan temperatur di dalam ruang mesin yang dapat menyebabkan *heat stroke* kepada awak kapal di dalam ruang mesin. Dalam mode siaga tempur, seluruh awak harus berada di posisi masing-masing termasuk dalam ruang mesin. Dimana, dalam mode siaga tempur dengan pembebanan mesin 100%, para awak akan terkena paparan panas yang ada di ruang mesin.

Berdasarkan U.S. NOAA National Weather Service Heat Index, peningkatan temperatur yang diterima oleh tubuh dapat menyebabkan *heat stroke* pada kelembapan tertentu. *Heat stroke* sendiri dapat menyebabkan kelelahan ekstrem, kulit panas kering atau berkeringat berlebihan, mual, muntah, diare, disorientasi, pusing, gerakan tidak terkoordinasi, dan wajah memerah. Dalam jangka panjang hal ini dapat menyebabkan gangguan kesehatan pada awak kapal, yang bisa menurunkan performa awak kapal tersebut, seperti gagal ginjal akut, Koagulasi intravaskular diseminata, rhabdomyolisis, sindrom gangguan pernapasan akut [9]. Untuk mencegah *heat stroke* pada ruang mesin, ventilasi udara sangat penting dalam ruang mesin. Ventilasi udara diperlukan untuk menjaga kondisi udara di dalam ruang mesin. Kondisi udara yang baik berguna untuk menyediakan kondisi kerja yang nyaman dan memberikan pasokan udara untuk peralatan mesin yang ada di ruang mesin [1].

Pada penelitian yang dilakukan oleh **Zani et al [5]**, dimana dalam penelitian ini peneliti mengevaluasi variasi sistem ventilasi yang paling optimal di ruang mesin kapal dan menganalisis efek perubahan aliran udara suplai pada variabel temperatur menggunakan simulasi dinamika fluida komputasi. Variasi yang digunakan pada penelitian ini meliputi skenario variasi air change per hour pada inlet ventilasi. Variasi dari air change per hour terdiri dari 8, 12, 16, dan 20 air change per hour. Dimana dari hasil simulasi di penelitian ini menunjukkan bahwa dengan penambahan kapasitas inlet ventilasi yang masuk dapat menurunkan temperatur ruang mesin kapal, dengan temperatur terendah pada variasi 20 air change per hour.

Hasil penelitian oleh **Hendri et al [6]** yang membahas mengenai analisis aliran udara pada ruang mesin kapal dengan pendekatan CFD (*Computational Fluids Dynamics*), yang memiliki 2 *blower* yang memiliki kapasitas  $Q = 33.876$  cfm 40 Hp dan  $Q = 45.758$  cfm 50 Hp. Kondisi temperatur pada ruang mesin sebelum dilakukan penambahan *outlet duct* berkisar antara 60-65°C dengan tenaga penuh dari engine dapat mencapai 1000 rpm. Pada penelitian ini dilakukan penambahan *outlet duct* dengan variasi 6, 12 dan 24 *outlet duct*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu ruang mesin pada kapal kelas fregat melebihi batas yang diizinkan yaitu 45°C. Simulasi dan analisis dilakukan untuk menemukan solusi yang sesuai untuk mempertahankan kondisi ideal di ruang mesin. Penelitian ini mengidentifikasi kebutuhan akan sistem ventilasi dengan desain saluran dan kapasitas *blower* yang spesifik untuk mendinginkan ruang mesin secara efektif dan memastikan kinerja peralatan tidak terganggu, dimana kapasitas dan spesifikasi *blower* yang ada saat ini ternyata tidak mencukupi untuk mempertahankan tingkat suhu yang diinginkan. Dari hasil simulasi, didapatkan bahwa penambahan 24 *outlet duct* sangat berpengaruh, dimana temperatur dapat mencapai 41°C yang sudah memenuhi standar Llyods Register.

Pada penelitian oleh **Perez et al [12]** yang berfokus pada pengurangan tekanan panas di ruang mesin kapal melalui penggunaan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) tiga dimensi. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi area di dalam ruang mesin yang mengalami tekanan panas tingkat tinggi dan mengusulkan solusi untuk meningkatkan kondisi kerja di lingkungan ini. Dengan melakukan simulasi yang mereplikasi kondisi dalam ruangan yang ekstrem, memantau berbagai variabel, dan menganalisis tugas-tugas yang dilakukan di ruang mesin, penelitian ini memberikan wawasan yang berharga mengenai durasi maksimum yang dapat dihabiskan pekerja dengan aman di zona yang berbeda dan waktu minimum yang dibutuhkan untuk menghilangkan panas yang terkumpul. Pada akhirnya, penelitian ini berupaya menawarkan panduan untuk pengembangan standar masa depan dalam konstruksi dan operasi kapal.

Pada sistem ventilasi saat ini, temperatur pada ruang mesin kapal kelas *Landing Ship Tank* (LST) dapat mencapai 33-45°C. Dengan kondisi tersebut tentunya dapat menyebabkan *heat stress* pada awak kapal. Untuk mencegah hal tersebut, maka perlu dilakukan pengondisian udara dalam ruang mesin, hal yang dapat dilakukan adalah dengan memperbaiki sistem ventilasi pada ruang mesin. Karena itu, pada penelitian ini akan dianalisa terkait pengaruh desain ulang sistem ventilasi pada ruang mesin kapal kelas *Landing Ship Tank* (LST). Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat membuat kondisi udara ruang mesin kapal menjadi sesuai standar dan penelitian ini dapat menjadi referensi dalam perancangan sistem ventilasi pada ruang mesin kapal kelas *Landing Ship Tank* (LST) untuk mengurangi efek ataupun mencegah heat stroke pada awak kapal kelas *Landing Ship Tank* (LST).

## 1.2 Rumusan Masalah

Ruang mesin pada kapal adalah salah satu bagian penting pada kapal, disana terdapat komponen-komponen yang menggerakkan kapal. Komponen-komponen tersebut dapat mengeluarkan panas ketika beroperasi, dimana hal ini dapat membuat awak kapal yang berada di ruang mesin terkena paparan panas. Paparan panas yang berlebihan dapat menyebabkan *heat stress* maupun *heat stroke* pada awak kapal yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan dan bahkan dapat menyebabkan kematian. Sistem ventilasi yang baik sangat penting bagi ruang mesin kapal. Pasokan udara yang cukup berguna untuk menyediakan kondisi kerja yang nyaman di ruang mesin, menyediakan pasokan udara yang cukup untuk pembakaran pada mesin diesel dan mencegah panas berlebih pada mesin.

Berdasarkan ISO 8861:1998 temperatur udara luar yang diambil untuk ventilasi udara di dalam ruang mesin harus sekitar  $+35^{\circ}\text{C}$  dan kenaikan temperatur dari udara yang masuk dan melewati ruang mesin maksimal 12,5 K dan tekanan 101,3 kPa [1]. Dengan sistem ventilasi udara yang ada saat ini dengan kapasitas *blower* 40000 cmh, temperatur pada ruang mesin kapal kelas *Landing Ship Tank* (LST) dapat mencapai  $33-45^{\circ}\text{C}$ . Kondisi ini sudah melebihi batas normal untuk kondisi udara pada ruang mesin, dimana lingkungan termal yang tidak memadai dapat menyebabkan penurunan kinerja fisik dan mental, mudah marah, peningkatan agresivitas, gangguan, kesalahan, ketidaknyamanan akibat berkeringat atau menggigil, peningkatan atau penurunan denyut jantung, dan bahkan kematian.

Karena dampak kesehatan yang dapat ditimbulkan pada awak kapal dengan kondisi udara tersebut, maka diperlukan perancangan desain modifikasi sistem ventilasi udara pada ruang mesin kapal agar kondisi udara yang ada sesuai dengan standar. Untuk menurunkan temperatur pada ruang mesin dapat dilakukan dengan penambahan suplai udara yang masuk agar lebih banyak udara dengan temperatur yang lebih rendah untuk mendinginkan ruangan. Akan tetapi penambahan kapasitas *blower* tentunya akan menambah penggunaan daya listrik untuk *blower*, sementara ketersediaan daya listrik di kapal terbatas. Daya listrik kapal tidak hanya digunakan untuk ventilasi saja, tetapi juga untuk navigasi kapal, persenjataan, penerangan dan kebutuhan listrik lainnya. Oleh karena itu, penambahan kapasitas *blower* tidak boleh sembarangan dan disesuaikan dengan kebutuhan agar kebutuhan ventilasi terpenuhi dengan daya listrik yang tersedia.

Dengan pertimbangan yang telah disebutkan, kami mengajukan beberapa modifikasi ventilasi ruang mesin kapal kelas *Landing Ship Tank*. Dengan modifikasi desain yang pertama yaitu dengan menambah kapasitas *blower* ventilasi udara pada ruang mesin, dimana berdasarkan perhitungan kebutuhan suplai udara pada ruang mesin menurut catterpillar, kapasitas *blower* yang ada kurang memadai dan pada setiap *blower* dibutuhkan suplai udara sebesar 53479 cmh. Desain modifikasi yang kedua yaitu dengan menambahkan *exhaust fan* pada *outlet* ruang mesin, untuk membantu menghisap udara panas pada ruang mesin. Desain modifikasi yang ketiga yaitu dengan menambahkan kapasitas *blower* menjadi 53479 cmh dan menambahkan *exhaust fan* pada *outlet* ruang mesin. Dari desain awal dan desain modifikasi yang ada akan di simulasikan pada pembebanan mesin 100%. Berikut adalah variasi sistem ventilasi ruang mesin kapal kelas *Landing Ship Tank* yang akan dianalisa.

1. Kondisi Desain, dengan kapasitas *inlet blower* 40000 cmh pada masing-masing *ducting* ventilasi dan *outlet* pada kondisi natural.

2. Modifikasi 1, dengan kapasitas *inlet blower* 53479 cmh pada masing-masing *ducting* ventilasi dan *outlet* pada kondisi natural.
3. Modifikasi 2, dengan kapasitas *inlet blower* 40000 cmh pada masing-masing *ducting* ventilasi dan ditambahkan *exhaust fan* pada *outlet*.
4. Modifikasi 3, dengan kapasitas *inlet blower* 53479cmh pada masing-masing *ducting* ventilasi dan ditambahkan *exhaust fan* pada *outlet*.

Dari desain alternatif yang ada, diharapkan dapat menurunkan temperatur dan kelembapan pada ruang mesin sesuai dengan standar yang ada dan membuat kondisi ruangan bertekanan positif. Masing-masing desain akan dibandingkan dengan melihat kontur temperatur, kecepatan, kelembapan dan tekanan udara. Desain alternatif ini akan dikaji dan disimulasikan dengan pendekatan CFD (*Computational Fluid Dynamic*) menggunakan Ansys Fluent 2023 R2.

### 1.3 Batasan Masalah

Agar hasil dari penelitian ini sesuai dengan tujuan yang ada, maka ditetapkan batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Geometri ruang kelas sesuai dengan kondisi riil ruang mesin KRI jenis Landing Ship Tank (LST).
2. Aliran fluida pada sisi inlet bersifat *steady*, *uniform* dan *incompressible*.
3. Analisa dilakukan menggunakan Software Ansys Fluent 2023 R2.
4. Model Turbulensi yang digunakan adalah k- $\epsilon$  RNG, 3-D steady-RANS.
5. Kondisi beban mesin yang digunakan adalah 100%.

### 1.4 Tujuan

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi sistem ventilasi udara yang baru pada ruang mesin kapal, agar kondisi udara pada ruang mesin kapal dapat memenuhi standar yang ada. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Melakukan analisa data kuantitatif dan kualitatif ruang mesin kapal kelas *Landing Ship Tank* pada kondisi desain berupa data temperatur, kecepatan, dan tekanan udara.
2. Melakukan analisa modifikasi sistem ventilasi ruang mesin kapal kelas *Landing Ship Tank*.
3. Membandingkan data kuantitatif dan kualitatif ruang mesin kapal kelas *Landing Ship Tank* pada kondisi desain dan modifikasi.

### 1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat bagi pembaca, manfaat yang diharapkan diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini dapat menjadi referensi dalam modifikasi sistem ventilasi pada ruang mesin kapal kelas Landing Ship Tank (LST).
2. Menjadi solusi untuk mengurangi efek ataupun mencegah *heat stress* pada awak kapal kelas Landing Ship Tank (LST).

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Spesifikasi Kapal

Dalam penelitian kali ini, objek yang akan diteliti adalah kapal kelas *Landing Ship Tank* (LST). Kapal kelas *Landing Ship Tank* (LST) adalah Kapal perang Republik Indonesia yang berfungsi untuk mengangkut kendaraan menuju medan tempur. Kapal kelas *Landing Ship Tank* (LST) ini dirancang mengangkut tank tempur utama jenis Leopard milik Angkatan Darat dan tank BMP-3F milik Marinir. Kapal kelas *Landing Ship Tank* (LST) yang dianalisis memiliki spesifikasi yang tercantum dalam Tabel 2.1.

**Tabel 2. 1** Data Kapal dan Permesinan Kapal Kelas Landing Ship Tank (LST)

<b>Data Kapal dan Permesinan</b>	
Tahun Pembuatan	2022
Panjang kapal	120 meter
Lebar	12 meter
Tinggi garis air	16,40 meter
Mesin utama	2 x 4.320 HP
Kapasitas Tangki BB	865.141 Liter
Kecepatan Ekonomis	12 Knots
Kecepatan Jelajah	14 Knots
Kecepatan Penuh	16 Knots
Awak kapal	111 orang
Penumpang	184 orang
Pasukan	356 Personel
<i>Helly Crew</i>	6 Personel
Kendaraan	12 truk, 8 sedan
Kelas	Landing Ship Tank

### 2.2 Emisi Panas dari Peralatan Ruang Mesin

Di dalam ruang mesin terdapat mesin utama dan juga mesin pendukung yang menghasilkan panas dikarenakan kerja yang dilakukan untuk menggerakkan kapal. Adapun perhitungan beban panas ( $Q$ ) yang dihasilkan oleh mesin utama dan mesin bantu dapat menggunakan persamaan 2.1 dari [1].

$$Q = 0,02 \times Ne \times gc \times Qf \quad (2.1)$$

Dimana:

$Ne$ : Daya mesin utama (watt)

$gc$ : konsumsi bahan bakar spesifik (kg/Watt.jam)

$Q_f$ : Nilai kalor dari bahan bakar (kkal/kg)

## 2.3 Kalor yang Dikeluarkan Tubuh Manusia

Saat beraktivitas, manusia tubuh akan mengeluarkan kalor lebih banyak untuk menjaga suhu tubuh yang stabil. Jumlah kalori yang dikeluarkan dapat bervariasi tergantung pada faktor-faktor seperti usia, jenis kelamin, tingkat aktivitas fisik, komposisi tubuh, dan faktor genetik. Dimana, suhu tubuh normal umumnya berada di rentang antara 36,5 – 37,2 °C. Suhu tubuh bisa dipengaruhi oleh berbagai hal, misalnya suhu lingkungan atau aktivitas yang sedang dilakukan. Pada Tabel 2.2 disajikan berbagai aktivitas yang dilakukan manusia dan laju metabolisme yang dialaminya. Pada Tabel 2.2 laju metabolisme ditunjukkan dengan satu MET atau metabolic equivalent of task, Dimana 1 Met = 356 Btu/jam = 58 W/m<sup>2</sup> [2].

**Tabel 2. 2** Laju Metabolisme Manusia Ketika Beraktivitas

<b>Aktivitas</b>	<b>W/m<sup>2</sup></b>	<b>met<sup>a</sup></b>
<i>Resting</i>		
<i>Sleeping</i>	40	0.7
<i>Reclining</i>	45	0.8
<i>Seated, quiet</i>	60	1.0
<i>Standing, relaxed</i>	70	1.2
<i>Walking (on level surface)</i>		
<i>3.2 km/h (0.9 m/s)</i>	115	2.0
<i>4.3 km/h (1.2 m/s)</i>	150	2.6
<i>6.4 km/h (1.8 m/s)</i>	220	3.8
<i>Office Activities</i>		
<i>Reading, seated</i>	55	1.0
<i>Writing</i>	60	1.0
<i>Typing</i>	65	1.1
<i>Filing, seated</i>	70	1.2
<i>Filing, standing</i>	80	1.4
<i>Walking about</i>	100	1.7
<i>Liftng/packing</i>	120	2.1
<i>Driving/Flying</i>		
<i>Car</i>	60-115	1.0-2.0
<i>Aircraft, routine</i>	70	1.2
<i>Aircraft, instrument landing</i>	105	1.8
<i>Aircraft, combat</i>	140	2.4
<i>Heavy vehicle</i>	185	3.2
<i>Miscellaneous Occupational Activities</i>		
<i>Cooking</i>	95-115	1.6-2.0
<i>Housecleaning</i>	115-200	2.0-3.4
<i>Seated, heavy limb movement</i>	130	2.2
<i>Machine work</i>		

<i>sawing (table saw)</i>	105	1.8
<i>light (electrical industry)</i>	115-140	2.0-2.4
<i>heavy</i>	235	4.0
<i>Handling 50-kg bags</i>	235	4.0
<i>Pick and shovel work</i>	235-280	4.0-4.8
<i>Miscellaneous Leisure Activities</i>		
<i>Dancing, social</i>	140-255	2.4-4.4
<i>Calisthenics/exercise</i>	175-235	3.0-4.0
<i>Tennis, singles</i>	210-270	3.6-4.0
<i>Basketball</i>	290-440	5.0-7.6
<i>Wrestling, competitive</i>	410-505	7.0-8.7

## 2.4 Tekanan Udara Pada Ruangan

Tekanan positif dan negatif pada ruangan adalah konsep penting dalam desain dan operasional ruang. Tekanan udara pada ruangan dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu tekanan udara positif dan tekanan udara negatif. Pada sistem ventilasi tekanan positif, tekanan udara ruangan lebih tinggi dari tekanan atmosfer, volume pasokan udara lebih besar dari udara buang. Karena adanya udara yang keluar, volume udara dari *inlet* udara segar lebih besar dari kebutuhan ruangan, volume udara yang keluar dari sistem akan berkurang akibat udara yang terdorong keluar. Dalam sistem ventilasi tekanan negatif, tekanan udara ruangan lebih rendah dari tekanan atmosfer, volume pasokan udara lebih kecil dari volume udara buang (volume pasokan udara umumnya 80-90% dari volume pembuangan) [10]. Pada ruang mesin, sistem pembuangan udara harus dirancang untuk mempertahankan tekanan positif di ruang mesin, hal ini biasanya tidak boleh melebihi 50 Pa [1, 3]. Untuk menjaga tekanan diperlukan aliran udara yang sesuai pada ruangan. Hubungan yang menggambarkan aliran udara melalui bukaan didasarkan pada persamaan Bernoulli dengan aliran *steady* dan *incompressible flow*. Persamaan yang paling umum digunakan untuk selisih laju aliran udara pada suplai udara dan keluaran udara (*exhaust*) menurut ASHRAE dapat dilihat pada persamaan [2].

$$Q = C_D A \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (2.2)$$

Dimana:

$Q$  = Aliran udara,  $m^3/s$  (aliran udara offset atau diferensial)

$Cd$  = Koefisien *Discharge* pada bukaan (0.6)

$A$  = Area bukaan,  $m^2$

$\rho$  = Densitas udara,  $kg/m^3$  (pada 33°C adalah 1.1539  $kg/m^3$ )

## 2.5 Heat Stress dan Heat Stroke

Bekerja di dalam ruang mesin, dimana terdapat mesin-mesin yang menghasilkan panas membuat awak kapal dapat terkena paparan panas di dalam ruang mesin, hal ini dapat

menyebabkan *heat stress* dan *heat stroke* kepada awak kapal. *Heat stress* dapat diartikan sebagai ketidaknyamanan yang dirasakan dan ketegangan fisiologis yang terkait dengan paparan terhadap lingkungan yang panas, terutama selama pekerjaan fisik. Sementara *heat stroke* adalah penyakit parah yang ditandai dengan suhu inti yang melebihi 40°C dan kelainan sistem saraf pusat seperti mengigau, kejang, atau koma yang diakibatkan oleh paparan panas lingkungan atau pekerjaan fisik yang berat [7].

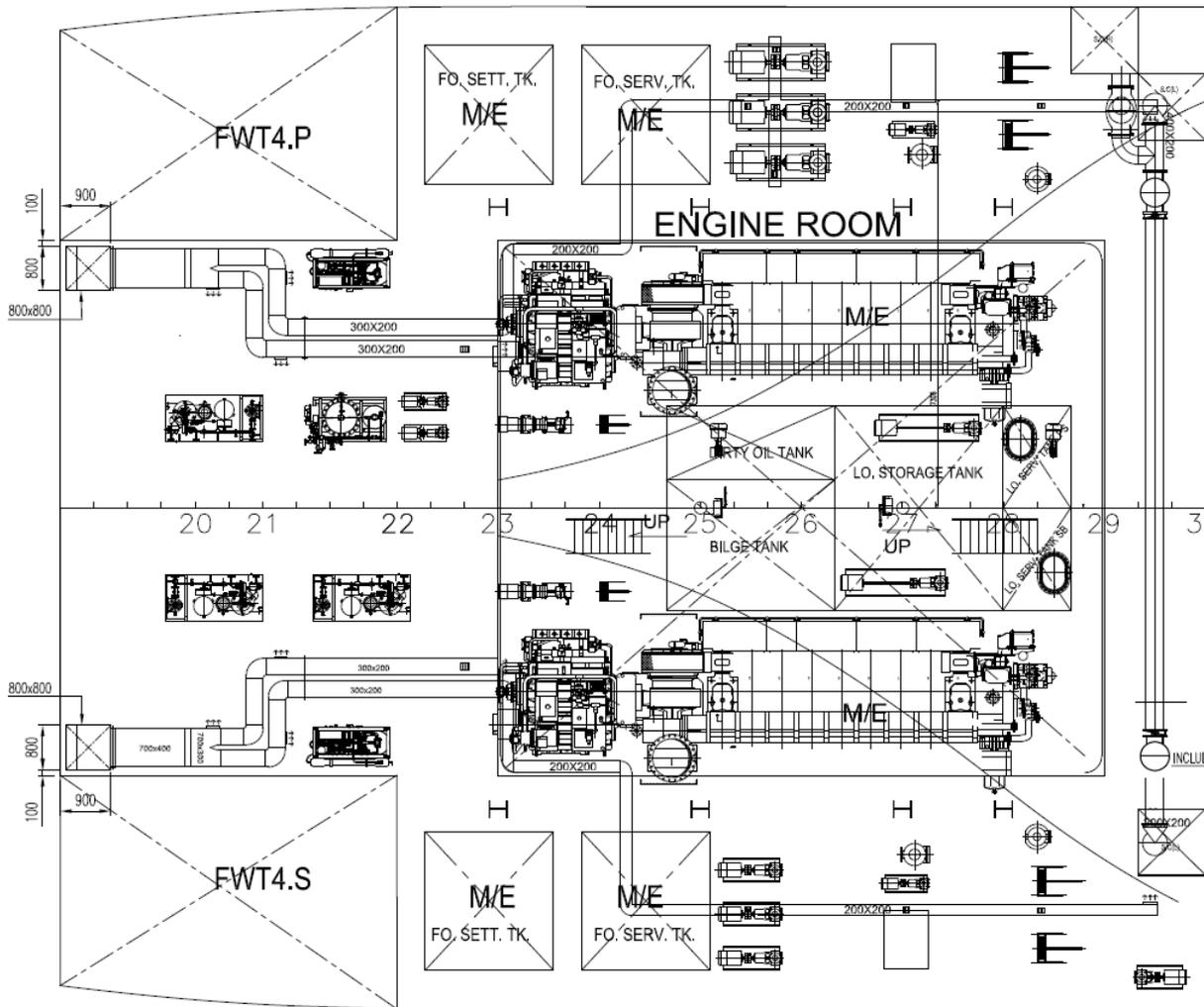
Sekitar 60% dari total berat badan orang dewasa terdiri dari air. Keseimbangan air di dalam tubuh sangat penting bagi pekerja yang melakukan tugas mereka di lingkungan bertemperatur tinggi. Dalam kondisi normal, temperatur tubuh dipertahankan antara 36,1°C dan 37,2°C. Ketika pekerja terpapar pada panas radiasi atau panas terarah tingkat tinggi, mereka dapat mengalami gangguan kesehatan. Misalnya, suhu tinggi (di atas 45°C) pada kulit dapat membakar jaringan kulit. Lingkungan termal yang tidak memadai menyebabkan penurunan kinerja fisik dan mental, mudah marah, peningkatan agresivitas, gangguan, kesalahan, ketidaknyamanan akibat berkeringat atau menggigil, peningkatan atau penurunan denyut jantung, dan bahkan kematian. Berikut dampak yang dihasilkan kepada pekerja pada temperatur berbeda:

1. 42°-44°C *Heat stroke*. Kulit panas dan kering, kejang, koma (15-25% dapat menyebabkan kematian)
2. 40°C Kemungkinan cedera otak
3. 38°C Normal
4. 36°C Normal
5. 34°C Merasa kedinginan, menggigil
6. 30°-33°C Hipotermia: bradikardia, hipotensi, mengantuk, apatis, otot kaku.
7. 28°C Otot rileks, kegagalan fungsi pernapasan.

Risiko mendasar dari paparan panas yang berlebihan adalah dehidrasi dan *heat stroke*. Kadang-kadang risiko ini dapat terjadi dengan sangat cepat, tiba-tiba, dan memiliki hasil yang cepat dan tidak dapat dipulihkan. Panas tubuh yang berlebihan dapat menyebabkan peningkatan kemungkinan kecelakaan di tempat kerja, penyakit yang sudah ada sebelumnya (seperti kardiovaskular, pernapasan, ginjal, kulit, diabetes, dll.) semakin parah, dan timbul kerusakan kesehatan [8].

## 2.6 Ruang Mesin Kapal

Ruang Mesin merupakan salah satu bagian penting dalam kapal, di dalam ruang mesin terdapat komponen-komponen yang menggerakkan kapal. Komponen yang ada di dalam ruang mesin seperti *main engine* sebagai mesin penggerak utama kapal, *generator set*/pembangkit tenaga listrik, *boiler*, motor-motor listrik, pompa, penukar kalor/*heat exchanger*, tangki bahan bakar, *Main Switch Board* dan permesinan lainnya. Pada Gambar 2.1 disajikan denah ruang mesin kapal kelas *Landing Ship Tank (LST)*.



**Gambar 2. 1** Denah Ruang Mesin Kapal Kelas Landing Ship Tank (LST)

Ketika mesin menyala, komponen-komponen yang terdapat di dalam ruang mesin tersebut dapat menghasilkan panas. Selain itu, di dalam ruang mesin juga ada awak-awak kapal yang bekerja untuk mengoperasikan mesin kapal. Awak kapal yang ada di ruang mesin tersebut juga dapat menghasilkan panas dari tubuh mereka. Panas yang menumpuk pada ruang mesin dapat mengakibatkan mesin pada kapal mengalami *overheat* yang dapat mengganggu performa mesin. Selain itu, panas yang menumpuk juga dapat menyebabkan *heat stroke* pada manusia yang mengganggu kesehatan. Oleh karena itu, diperlukan sistem ventilasi yang dapat menjaga kondisi udara pada ruang mesin.

## 2.7 Standar Ventilasi Ruang Mesin

### 2.2.1 Standar Internasional Ventilasi Ruang Mesin Pada Mesin Diesel Kapal

Berdasarkan Standar [1], persyaratan desain dan metode perhitungan yang sesuai untuk ventilasi dari ruang mesin di kapal bermesin diesel, untuk kondisi normal di semua perairan. Dimana temperatur udara luar yang diambil untuk ventilasi udara di dalam ruang mesin harus sekitar  $+35^{\circ}\text{C}$  dan kenaikan temperatur dari udara yang masuk dan melewati ruang mesin maksimal  $12,5\text{ K}$  (hal ini berarti temperatur maksimal adalah  $47,5^{\circ}\text{C}$ ), RH 70 % dan tekanan  $101,3\text{ kPa}$ . Di dalam ruang mesin, perlu disediakan pasokan udara yang cukup

untuk pembakaran pada mesin diesel dan mencegah panas berlebih pada mesin. Hal ini perlu dilakukan untuk menyediakan kondisi kerja yang nyaman di ruang mesin.

### 1. Jumlah Aliran Udara

Pada ruang mesin, jumlah aliran udara yang masuk juga perlu diperhitungkan. Total aliran udara ( $Q$ ) ke ruang mesin setidaknya memiliki nilai yang lebih besar dari dua perhitungan berikut.

- a. Total aliran udara dihitung dengan menjumlahkan  $q_c$  dan  $q_h$

$$Q = q_c + q_h \quad (2.3)$$

- b. Total aliran udara adalah aliran udara untuk pembakaran +50%, sehingga total aliran udara ke ruang mesin tidak boleh kurang dari 150% total udara pembakaran

$$Q = 1.5 \times q_c \quad (2.4)$$

### 2. Jumlah Aliran udara untuk Pembakaran

Jumlah aliran udara untuk pembakaran ( $q_c$ ) dapat dihitung dalam meter kubik per detik dengan formula sebagai berikut:

$$q_c = q_{dp} + q_{dg} + q_b \quad (2.5)$$

Dimana:

$q_{dp}$ : aliran udara untuk pembakaran mesin diesel penggerak utama, dalam meter kubik per detik.

$q_{dg}$ : aliran udara untuk pembakaran untuk mesin diesel generator, dalam meter kubik per detik.

$q_b$ : aliran udara untuk pembakaran untuk boiler, dalam meter kubik per detik, jika relevan dalam kondisi laut normal.

### 3. Aliran Udara Untuk Pembakaran Mesin Diesel Penggerak Utama

Aliran udara untuk pembakaran mesin diesel penggerak utama ( $q_{dp}$ ) dapat dihitung dalam meter kubik per detik, sebagai berikut:

$$q_{dp} = \frac{P_{dp} \cdot m_{ad}}{\rho} \quad (2.6)$$

Dimana:

$P_{dp}$  adalah kekuatan standar layanan mesin diesel penggerak utama pada output daya maksimum kontinyu, dalam kilowatt.

$m_{ad}$  adalah kebutuhan udara untuk pembakaran untuk mesin diesel, dalam kg/ kW. s.

Jika data spesifik untuk  $m_{ad}$  tidak tersedia, nilai-nilai berikut dapat digunakan untuk perhitungan:

$m_{ad} = 0,0023 \text{ kg / (kW. s)}$  untuk mesin 2 langkah,

$m_{ad} = 0,0020 \text{ kg / (kW. s)}$  untuk mesin 4 langkah.

$\rho = 1,13 \text{ kg/m}^3$  (yaitu densitas udara, pada + 35°C, RH 70 dan 101,3 kPa).

#### 4. Aliran Udara Untuk Pembakaran Diesel Generator

Aliran udara untuk pembakaran diesel generator ( $q_{dg}$ ), dapat dihitung dalam meter kubik per detik, sebagai berikut:

$$q_{dg} = \frac{P_{dg} \cdot m_{ad}}{\rho} \quad (2.7)$$

Dimana:

$P_{dg}$ : kekuatan standar layanan mesin diesel generator pada output daya maksimum, dalam kilowatt.

$m_{ad}$ : kebutuhan udara untuk pembakaran untuk mesin diesel, dalam kg/ kW. s.

Jika data spesifik untuk  $m_{ad}$  tidak tersedia, nilai-nilai berikut dapat digunakan untuk perhitungan:

$m_{ad} = 0,0023$  kg / (kW. s) untuk mesin 2 langkah,

$m_{ad} = 0,0020$  kg / (kW. s) untuk mesin 4 langkah.

$\rho = 1,13$  kg/m<sup>3</sup> (yaitu densitas udara, pada + 35°C, RH 70% dan 101,3 kPa).

#### 2.2.2 Biro Klasifikasi Indonesia

Menurut Biro Klasifikasi Indonesia (2013: volume 8) tentang “*Rules for The Classification and Construction of Seagoing Steel Ships for Refrigerating Instalation*”, untuk menjaga kondisi udara di dalam ruang mesin, ada beberapa kondisi yang perlu diperhatikan [4]. Kondisi untuk ruang mesin yang berisi mesin, peralatan dan alat-alat bantu lainnya serta dioperasikan pada kondisi kerja di daerah tropis, yaitu sebagai berikut:

1. Tekanan barometrik: 1000 mbar (100 kPa)
2. Temperatur maksimum ruang mesin: 45°C
3. Temperatur air laut: +32°C
4. Kelembaban relatif: 80%

#### 2.2.3 Rekomendasi Saluran Ventilasi Ruang Mesin

Penataan jalur aliran udara ventilasi yang benar sangat penting agar mesin dapat beroperasi dengan baik. Mengkondisikan temperatur udara yang direkomendasikan di ruang mesin tidak mungkin dilakukan tanpa pengaturan jalur ventilasi udara yang tepat. Prinsip-prinsip berikut harus dipertimbangkan ketika merancang sistem ventilasi ruang mesin [3].

1. Saluran masuk udara segar harus ditempatkan sejauh mungkin dan serendah mungkin dari sumber panas.
2. Udara ventilasi harus dikeluarkan dari ruang mesin pada titik tertinggi, sebaiknya langsung di atas mesin.
3. Saluran masuk dan keluar udara ventilasi harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga udara buangan tidak masuk ke dalam saluran masuk ventilasi (resirkulasi).
4. Saluran masuk dan keluar udara ventilasi harus ditempatkan sedemikian rupa untuk mencegah adanya celah udara yang mengalami resirkulasi, terutama di sekitar saluran masuk udara.

5. Jika memungkinkan, titik hisap gas buang harus ditempatkan tepat di atas sumber panas utama. Ini akan menghilangkan panas sebelum sempat bercampur dengan udara ruang mesin dan menaikkan suhu rata-rata.
6. Hindari saluran ventilasi pasokan udara yang mengalirkan udara dingin langsung ke komponen mesin yang panas. Hal ini mencampurkan udara terpanas di ruang mesin dengan udara dingin yang masuk, sehingga meningkatkan suhu rata-rata ruang mesin. Hal ini juga menyebabkan area ruang mesin tidak memiliki ventilasi yang cukup.
7. Untuk instalasi di mana mesin mengambil udara pembakaran dari dalam ruang mesin, rutenya harus menyediakan udara pembakaran paling dingin ke saluran masuk turbocharger.

Prinsip-prinsip ventilasi umum ini, meskipun didorong oleh prinsip-prinsip dasar perpindahan panas yang sama, akan berbeda-beda menurut penerapan spesifiknya. Bagian ini membahas pertimbangan umum yang berkaitan dengan aplikasi mesin tunggal dan ganda, aplikasi mesin ganda, dan beberapa aplikasi khusus. Dalam perancangan ventilasi udara ruang mesin, perlu diperhatikan kebutuhan aliran udara pada ventilasi. Perhitungan kebutuhan aliran udara pada ventilasi ruang mesin dapat menggunakan persamaan 2.8 sebagai berikut.

$$V = \left( \frac{H}{D \times C_p \times T} \times \text{Combustion Air} \right) \times F \quad (2.8)$$

Dimana:

$V$  = Ventilasi udara ( $m^3/min$ ), ( $cfm$ )

$H$  = Heat Radiation pada engine, generator, aux (kW), (Btu/min)

$D$  = Densitas udara pada temperatur  $38^\circ\text{C}$ , ( $100^\circ\text{F}$ ).

(Densitas bernilai  $1.009 \text{ kg/m}^3$  ( $0.071 \text{ lb/ft}^3$ ))

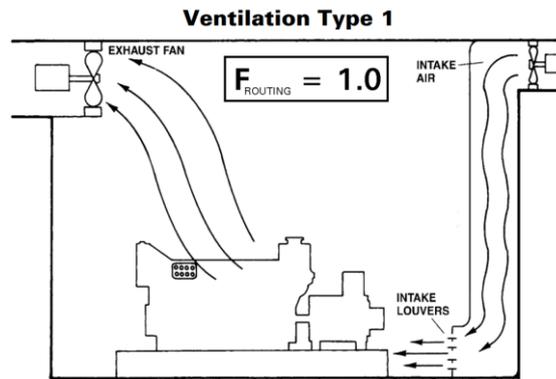
$C_p$  = Specific Heat udara ( $0.017 \text{ kW} \times \text{min/kg} \times ^\circ\text{C}$ ), ( $0.24 \text{ Btu/LBS/} ^\circ\text{F}$ )

$T$  = Kenaikan temperatur yang diizinkan ( $^\circ\text{C}$ ) ( $^\circ\text{F}$ )

Di dalam persamaan 2.8 terdapat  $F$  yang merupakan *routing factor* yang disesuaikan pada jenis saluran ventilasi. Berdasarkan caterpillar, ada berbagai alternatif pengaturan ventilasi pada ruang mesin dan panduan terkait faktor perutean yang perlu dipertimbangkan. Sistem ventilasi yang direkomendasikan disini, disajikan berdasarkan urutan preferensi, adalah Tipe 1, Tipe 2, Tipe 3, dan Tipe 4.

#### 1. Ventilasi Tipe 1

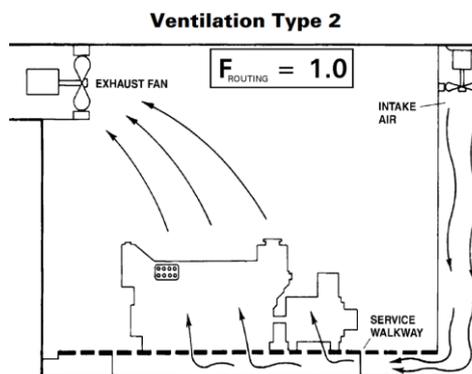
Udara luar dibawa ke ruang mesin melalui sistem saluran. Saluran ini harus disalurkan antara mesin, pada permukaan lantai, dan pembuangan udara di dekat bagian bawah mesin dan generator seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Kipas ventilasi udara buang harus dipasang atau disalurkan pada titik tertinggi di ruang mesin. Letaknya tepat di atas sumber panas.



**Gambar 2. 2** Ventilasi Tipe 1

2. Ventilasi Tipe 2

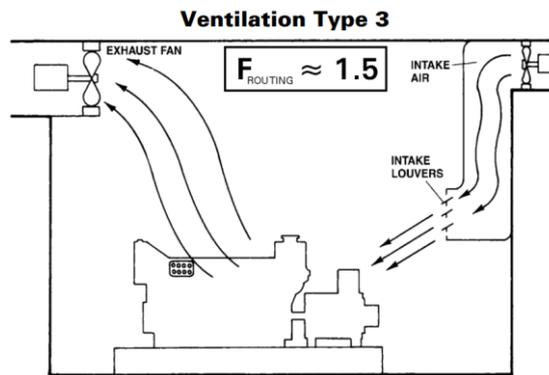
Mirip dengan sistem Tipe 1, Tipe 2 membawa udara luar ke ruang mesin melalui sistem saluran dan menyalurkannya antar mesin. Tipe 2, mengarahkan aliran udara ke bawah mesin dan generator sehingga udara dibuang ke atas di mesin dan generator seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Metode yang paling ekonomis untuk mencapai desain ini adalah dengan menggunakan platform pada lantai.



**Gambar 2. 3** Ventilasi Tipe 2

3. Ventilasi Tipe 3

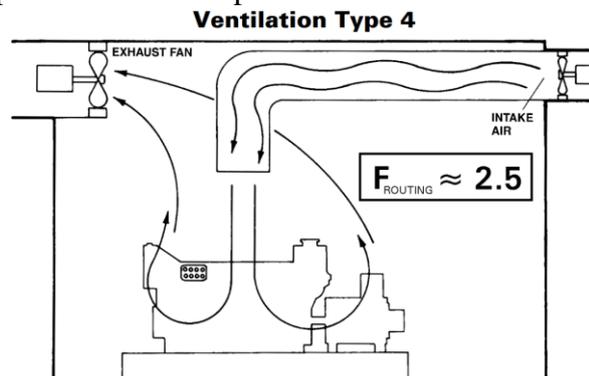
Jika Ventilasi Tipe 1 atau Tipe 2 tidak memungkinkan, alternatifnya adalah Tipe 3, namun, konfigurasi ini akan membutuhkan sekitar 50% lebih banyak aliran udara daripada Tipe 1. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5, udara luar dibawa masuk ke ruang mesin dengan menggunakan kipas angin atau saluran masuk yang besar. Udara tersebut mengalir melintasi ruang mesin dari titik masuk udara dingin menuju sumber panas mesin dan peralatan. Kipas pembuangan udara ventilasi harus dipasang atau disalurkan pada titik tertinggi di ruang mesin. Sebaiknya, kipas angin tersebut berada tepat di atas sumber panas.



**Gambar 2. 4** Ventilasi Tipe 3

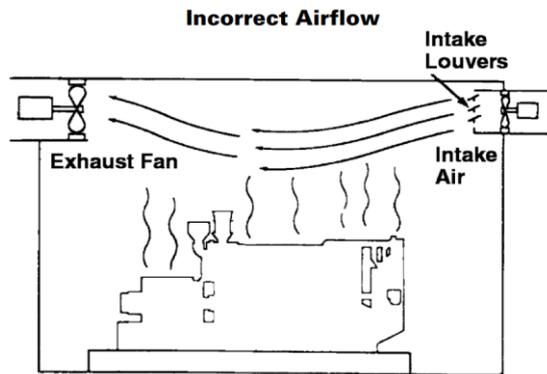
4. Ventilasi Tipe 4

Jika Ventilasi Tipe 1, Tipe 2, dan Tipe 3 tidak memungkinkan, metode berikut ini dapat digunakan, namun, metode ini memberikan ventilasi yang paling tidak efisien dan membutuhkan sekitar dua setengah kali aliran udara Ventilasi Tipe 1. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6, udara luar dibawa ke ruang mesin menggunakan kipas suplai, dan dibuang ke saluran masuk udara turbocharger pada mesin. Kipas pembuangan ventilasi harus dipasang atau disalurkan dari sudut-sudut ruang mesin. Ruang mesin dapat diberi ventilasi dengan cara ini, tetapi membutuhkan kipas ventilasi berkapasitas ekstra besar.

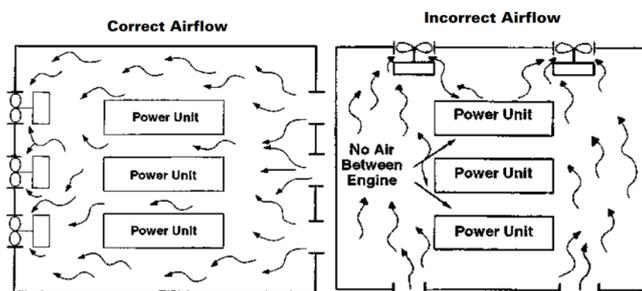


**Gambar 2. 5** Ventilasi Tipe 4

Aliran udara pada Gambar 2.7 mengilustrasikan metode yang salah untuk mengalirkan udara panas ke ruang mesin. Meskipun saluran masuk memiliki kisi-kisi untuk mengarahkan aliran udara ke arah mesin, panas yang meningkat akan menghangatkan udara dingin sebelum mencapai mesin.



**Gambar 2. 6** Aliran Udara yang Salah



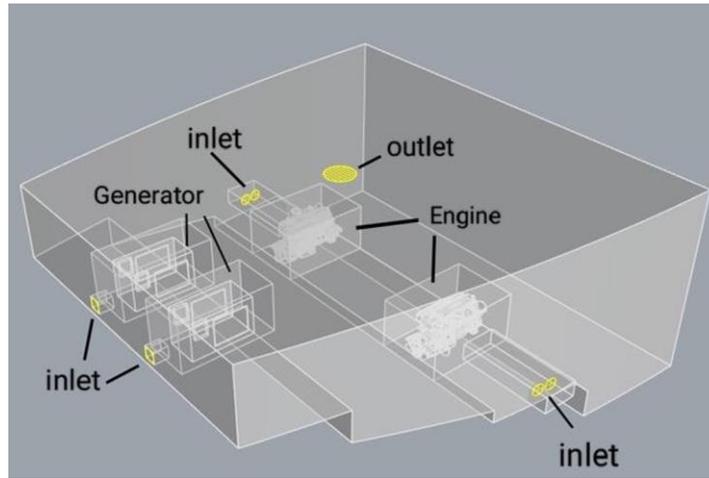
**Gambar 2. 7** Aliran Udara Pada Ruang Mesin

Untuk ruang mesin yang memiliki lebih dari satu mesin, aliran udara sebaiknya diatur agar aliran udara dingin dari ventilasi dapat mengalir diantara mesin-mesin yang ada agar tiap mesin mendapatkan pasokan udara yang cukup. Selain desain ventilasi, di dalam catterpillar dijelaskan juga mengenai batas temperatur dan tekanan pada ruang mesin, dimana temperatur maksimal adalah  $49^{\circ}\text{C}$  dan untuk temperatur adalah  $+0,05\text{ kPa}$  dari tekanan atmosfer (untuk tekanan positif) dan  $-0,1275\text{ kPa}$  (untuk tekanan negatif).

## 2.8 Hasil Penelitian Terdahulu

### 2.8.1 Analisa Ventilasi Ruang Mesin Menggunakan *Computational Fluid Dynamics* dengan Variasi Kecepatan *Inlet*

Pada penelitian yang dilakukan oleh Zani, et al [5], dimana dalam penelitian ini peneliti mengevaluasi variasi sistem ventilasi yang paling optimal di ruang mesin kapal dan menganalisis efek perubahan aliran udara suplai pada variabel temperatur menggunakan simulasi CFD (*Computational Fluids Dynamics*). Geometri dari ruang mesin kapal yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.8, dimana pada gambar 2.9 ditunjukkan juga *boundary condition* yang digunakan pada simulasi penelitian ini. Pada gambar 2.4 disajikan juga pengaturan yang digunakan pada Fluent yang digunakan pada penelitian ini.



**Gambar 2. 8** Geometri Kamar Mesin Kapal Tanker 6500 DWT

**Tabel 2. 3** Boundary Condition Kamar Mesin Kapal Tanker 6500 DWT

Wall	Parameter	Condition
	Velocity inlet (m/s)	Depends on the air changes per hour
	Outlet gauge pressure (atm)	1 atm
	Initial gauge pressure (atm)	1 atm
	Inlet temperature	35°C
Thermal	Engine	33.56 kW (6% of total power)
	Generator	17.00 kW (10% of total power)

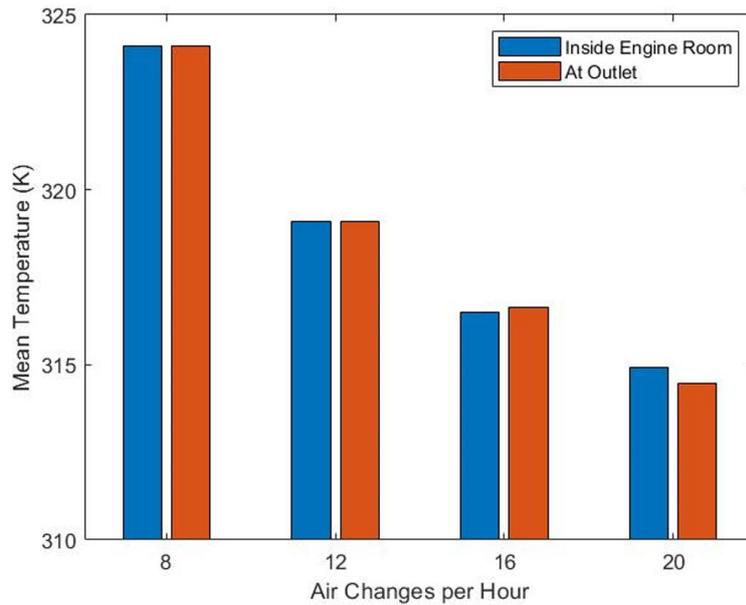
**Tabel 2. 4** Pengaturan Fluent yang Digunakan pada Simulasi

Viscous Model		Solver Settings	
Model	$\kappa$ - $\epsilon$ (2 equations)	Solver	Pressure-based
$\kappa$ - $\epsilon$ model	Resizeable	Space	3D
Fluid	Real gas (equilibrium air)	Gradient option	Least square cell-based
Turbulent viscosity	None	Flow type	Segregated
$Y^+$ wall treatment	Two-layer all	Time	Steady

Variasi yang digunakan pada penelitian ini meliputi skenario variasi *air change per hour* pada *inlet* ventilasi. Variasi dari *air change per hour* terdiri dari 8, 12, 16, dan 20 *air change per hour* yang dapat dilihat pada tabel 2.5. Dimana dari hasil simulasi pada penelitian ini menunjukkan bahwa dengan penambahan kapasitas *inlet* ventilasi yang masuk dapat menurunkan temperatur ruang mesin kapal yang dapat dilihat pada gambar 2.9. Dengan temperatur terendah pada variasi 20 *air change per hour*.

**Tabel 2. 5** Variasi Air Changes per Hour

Air changes per hour	Mean temperature inside engine room (K)	Mean temperature at outlet (K)
8	324.10	324.12
12	319.11	319.08
16	316.50	316.65
20	314.94	314.48



**Gambar 2. 9** Hasil Simulasi Suhu Rata-rata pada Setiap Bidang dengan Luas *Exhaust Funnel* Tetap

### 2.8.2 Analisis Aliran Udara pada Ruang Mesin Kapal Kelas Frigate dengan Pendekatan CFD (*Computational Fluids Dynamics*)

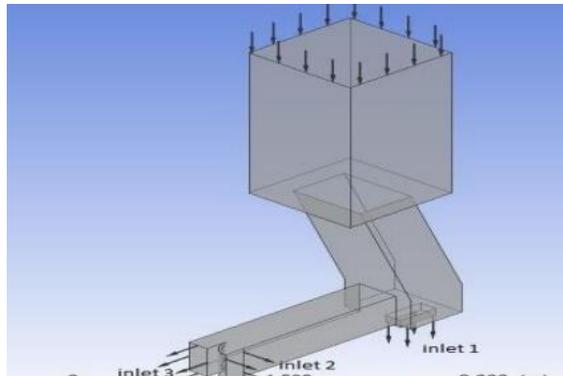
Menurut penelitian yang dilakukan oleh Hendri, et al., (2018) [6] dimana penelitian dilakukan dengan analisa numerik menggunakan CFD (*Computational Fluids Dynamics*), yang memiliki variasi jumlah *outlet ducting* 6, 12 dan 24 dengan 2 *blower* yang memiliki kapasitas  $Q = 33.876$  cfm 40 Hp dan  $Q = 45.758$  cfm 50 Hp seperti yang dapat dilihat pada tabel. Variasi sistem ventilasi ruang mesin kapal dapat dilihat pada tabel 2.5 dan gambar 2.8 – 2.10. Ruang mesin kapal ini memiliki beberapa komponen yang dapat menghasilkan panas, dapat dilihat pada tabel 2.6.

**Tabel 2. 6** Variasi Jumlah *Outlet Duct* dan *Blower Capacity*

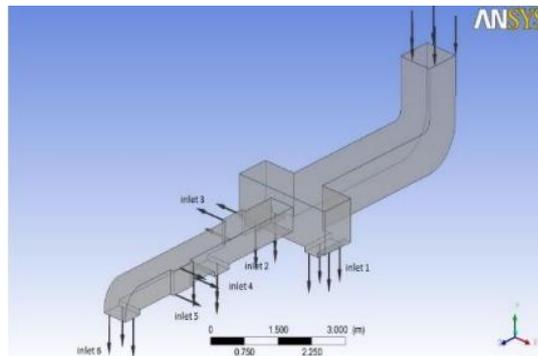
<b>Variation 1</b>	6 Outlet Duct	Blower capacity = 33.876 cfm, motor power 40 Hp
<b>Variation 2</b>	6 Outlet Duct	Blower capacity = 45.758 cfm, motor power 50 Hp
<b>Variation 3</b>	12 Outlet Duct	Blower capacity = 33.876 cfm, motor power 40 Hp
<b>Variation 4</b>	12 Outlet Duct	Blower capacity = 45.758 cfm, motor power 50 Hp
<b>Variation 5</b>	24 Outlet Duct	Blower capacity = 33.876 cfm, motor power 40 Hp
<b>Variation 6</b>	24 Outlet Duct	Blower capacity = 45.758 cfm, motor power 50 Hp

**Tabel 2. 7** Komponen Ruang Mesin Kapal Kelas Frigate

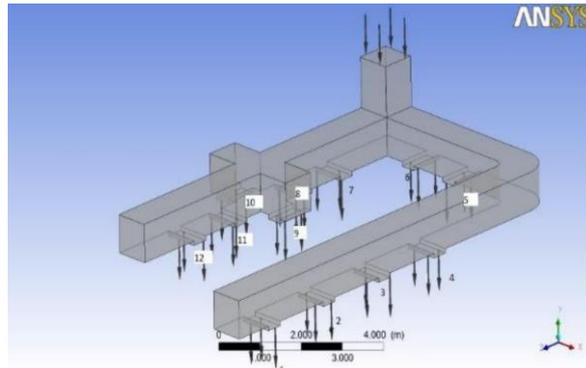
No	Appliance Name	Average of Temperature °C
1	Main Engine I	130
2	Main Engine II	135
3	KTM I	85
4	KTM II	85
5	Gearbox Oil Pump Motor I	65
6	Gearbox Oil Pump Motor II	65
7	Exhaust Pipes Main Engine I	350
8	Exhaust Pipes Main Engine II	300
9	Oil Tank I	43
10	Oil Tank II	43
11	Fuel Tank	67
12	Local panel Control I	55
13	Local panel Control II	55



**Gambar 2. 10** Desain Saluran Udara Saat Ini

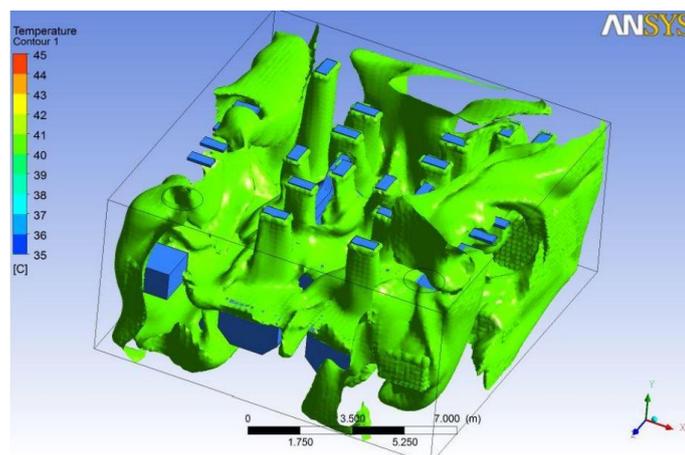


**Gambar 2. 11** Desain Saluran Udara dengan 6 Duct Outlet



**Gambar 2. 12** Desain Saluran Udara dengan 12 Duct *Outlet*

Berdasarkan hasil simulasi pada gambar 2.13, diketahui bahwa penambahan 24 *Outlet duct* sangat berpengaruh untuk membuat temperatur di ruang mesin mencapai 41°C. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penambahan *Outlet duct* secara signifikan menurunkan temperatur ruangan sehingga dapat memenuhi standar Lloyds Register. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar berikut.

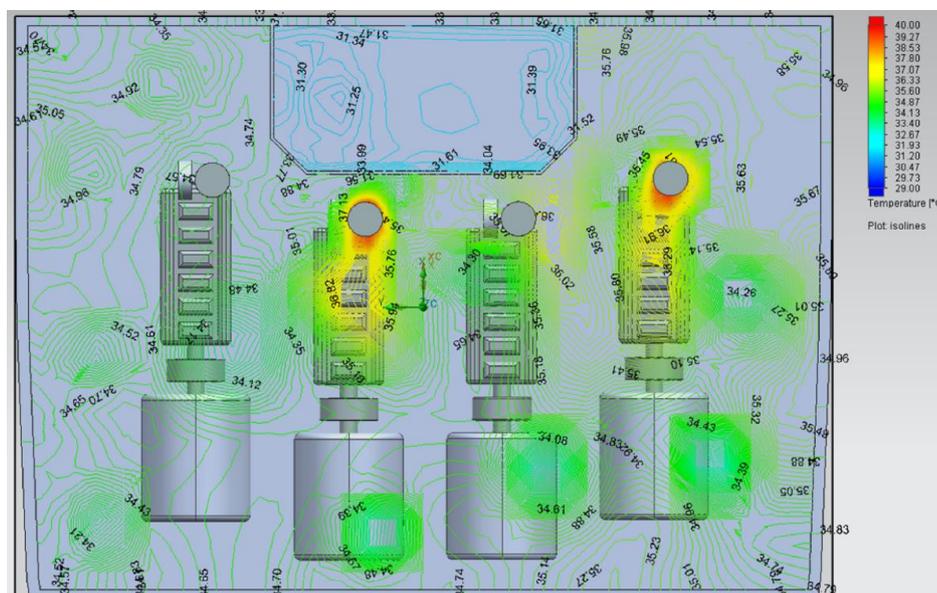


**Gambar 2. 13** Kondisi Temperatur Hasil Simulasi Ruang Mesin Kapal Kelas Frigate

Sistem Desain Saluran yang ideal untuk dipasang di ruang mesin kapal kelas fregat dapat diperoleh dengan bantuan Perangkat Lunak CFD ANSYS. Desain yang sesuai adalah total 12 *outlet duct* atau 24 *outlet duct*, dimensi inlet duct berbentuk persegi panjang dengan ukuran 860 mm x 860 mm dan dibutuhkan dua buah *blower* untuk menyuplai ruang mesin dengan kapasitas 33.876 CFM atau setara dengan 57.555,69 m<sup>3</sup>/jam dengan daya 40 HP saat kapal berlayar. Sementara itu, hanya dibutuhkan satu *blower* aktif dengan satu *blower* stand-by untuk di atas kapal. Dapat disimpulkan bahwa kapasitas dan spesifikasi *blower* lama yang terpasang saat ini yaitu 16.627,32 CFM atau setara dengan 28.250 m<sup>3</sup>/jam dengan daya 15 HP tidak ideal untuk digunakan dalam menyuplai kebutuhan udara dan menjaga temperatur di kamar mesin dalam kondisi yang diizinkan.

### 2.8.3 Studi Simulasi CFD Tiga Dimensi Untuk Mengurangi Tekanan Panas Di Kapal

Pada penelitian oleh Perez et al, 2016 [12] yang berfokus pada pengurangan tekanan panas di ruang mesin kapal melalui penggunaan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) tiga dimensi. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi area di dalam ruang mesin yang mengalami tekanan panas tingkat tinggi dan mengusulkan solusi untuk meningkatkan kondisi kerja di lingkungan ini. Dengan melakukan simulasi yang mereplikasi kondisi dalam ruangan yang ekstrem, memantau berbagai variabel, dan menganalisis tugas-tugas yang dilakukan di ruang mesin, penelitian ini memberikan wawasan yang berharga mengenai durasi maksimum yang dapat dihabiskan pekerja dengan aman di zona yang berbeda dan waktu minimum yang dibutuhkan untuk menghilangkan panas yang terkumpul. Pada akhirnya, penelitian ini berupaya menawarkan panduan untuk pengembangan standar masa depan dalam konstruksi dan operasi kapal.

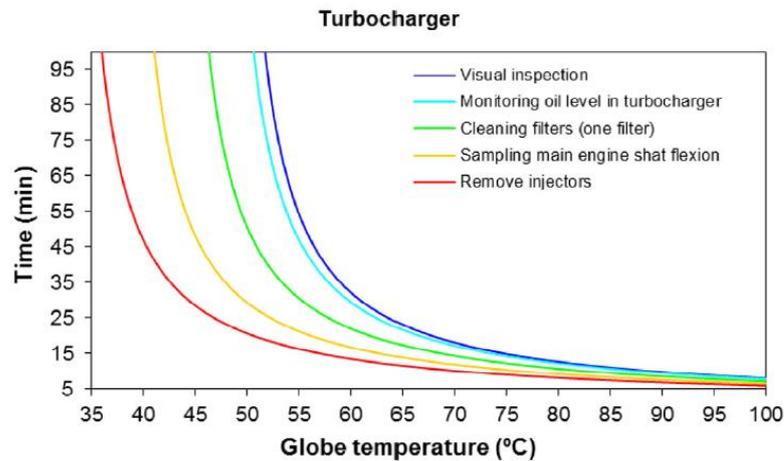


**Gambar 2. 14** Temperatur Udara Pada Ruang Mesin

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengurangi tekanan panas di ruang mesin kapal dengan memanfaatkan simulasi CFD 3D. Dari Gambar 2.14, dengan menunjukkan zona kritis dengan tingkat tekanan panas yang tinggi, penelitian ini bertujuan untuk menyarankan strategi untuk memperbaiki kondisi di ruang mesin. Penelitian ini menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics* 3D untuk mensimulasikan dan menganalisis tingkat tekanan panas di ruang mesin kapal. Dengan mereplikasi kondisi dalam ruangan yang ekstrem, memantau variabel-variabel utama, dan menilai tugas-tugas yang dilakukan di dalam ruang mesin, para peneliti mengidentifikasi area-area yang menjadi perhatian dan mengusulkan solusi potensial untuk meningkatkan kondisi kerja bagi individu-individu yang bekerja di lingkungan ini.

Hasil penelitian ini memberikan wawasan yang berharga mengenai durasi yang dapat dihabiskan pekerja dengan aman di berbagai zona di dalam kamar mesin dan waktu optimal yang diperlukan untuk menghilangkan panas yang terkumpul seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.15. Dengan memberikan analisis komprehensif tentang tingkat tekanan panas dan mengusulkan strategi untuk meningkatkan kondisi kerja, studi ini menetapkan

tahap untuk kemajuan potensial dalam pembuatan kapal dan standar operasional yang terkait dengan lingkungan dalam ruangan di kapal.



**Gambar 2. 15** Waktu Maksimal Pada Setiap Tugas yang Dilakukan

Berikut adalah rangkuman penelitian terdahulu terkait analisa sistem ventilasi pada ruang mesin yang dapat dilihat pada tabel 2.8.

**Tabel 2. 8** Rangkuman Penelitian Terdahulu

Penulis	Parameter yang Diteliti	Hasil
Zani, et al (2022)	Mengevaluasi variasi sistem ventilasi yang paling optimal di ruang mesin kapal dan menganalisis efek perubahan aliran udara suplai pada variabel temperatur menggunakan simulasi CFD ( <i>Computational Fluids Dynamics</i> ). Variasi yang digunakan pada penelitian ini meliputi skenario variasi <i>air change per hour</i> pada <i>inlet</i> ventilasi. Variasi dari <i>air change per hour</i> terdiri dari 8, 12, 16, dan 20 <i>air change per hour</i> .	Hasil simulasi pada penelitian ini menunjukkan bahwa dengan penambahan kapasitas <i>inlet</i> ventilasi yang masuk dapat menurunkan temperatur ruang mesin kapal dengan temperatur terendah pada variasi 20 <i>air change per hour</i> .
Hendri, et al (2018)	Melakukan analisa numerik pada ruang mesin kapal terkait variasi jumlah <i>outlet ducting</i> 6, 12 dan 24 dengan 2 <i>blower</i> yang memiliki kapasitas $Q = 33.876$ cfm 40 Hp dan $Q = 45.758$ cfm 50 Hp.	Hasil simulasi menunjukkan bahwa penambahan 24 <i>Outlet duct</i> sangat berpengaruh untuk membuat temperatur di ruang mesin mencapai 41°C. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penambahan <i>Outlet duct</i> secara signifikan menurunkan temperatur ruangan.
Perez, et al (2016)	Penelitian ini melakukan analisa mengenai durasi maksimum yang dapat dihabiskan pekerja dengan aman di zona yang berbeda dan waktu minimum yang dibutuhkan untuk menghilangkan panas yang terkumpul.	Hasil penelitian ini memberikan wawasan yang berharga mengenai durasi yang dapat dihabiskan pekerja dengan aman di berbagai zona di dalam kamar mesin dan waktu optimal yang diperlukan untuk menghilangkan panas yang terkumpul

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Studi Numerik

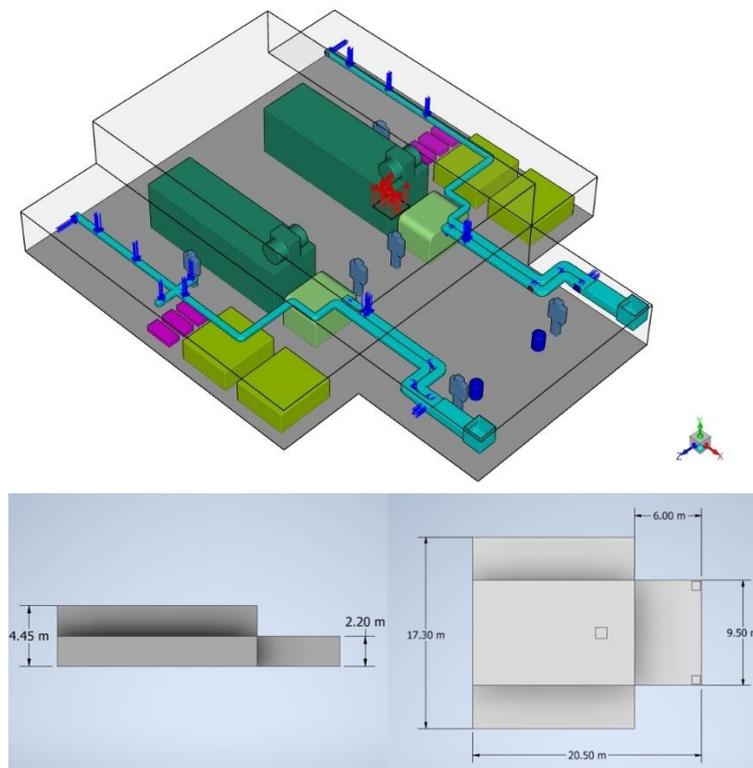
Studi numerik adalah metode penelitian yang menggunakan teknik-teknik matematis dan komputer untuk menyelesaikan masalah yang tidak dapat diselesaikan dengan metode analitik. Metode numerik ini menggunakan operasi hitungan, seperti operasi kurang, kali, dan bagi, untuk mengubah persoalan matematis menjadi persoalan yang dapat diselesaikan dengan bantuan komputer. Pada penelitian kali ini, peneliti akan menggunakan Ansys Fluent 2023 R2 untuk melakukan simulasi, dimana untuk memperoleh data yang diinginkan terdapat tahap *pre-processing*, *processing*, dan *post-processing*.

### 3.2 Tahap *Pre-Processing*

Tahap ini bertujuan untuk mendefinisikan model dari geometry, domain, dan tingkat detail serta kualitas data yang akan disimulasikan. Tahap *pre-processing* umumnya terdiri dari tiga tahapan yaitu pembuatan geometri, penentuan *domain* simulasi, dan pembuatan *mesh* atau *grid*.

#### 1. Pembuatan Geometri

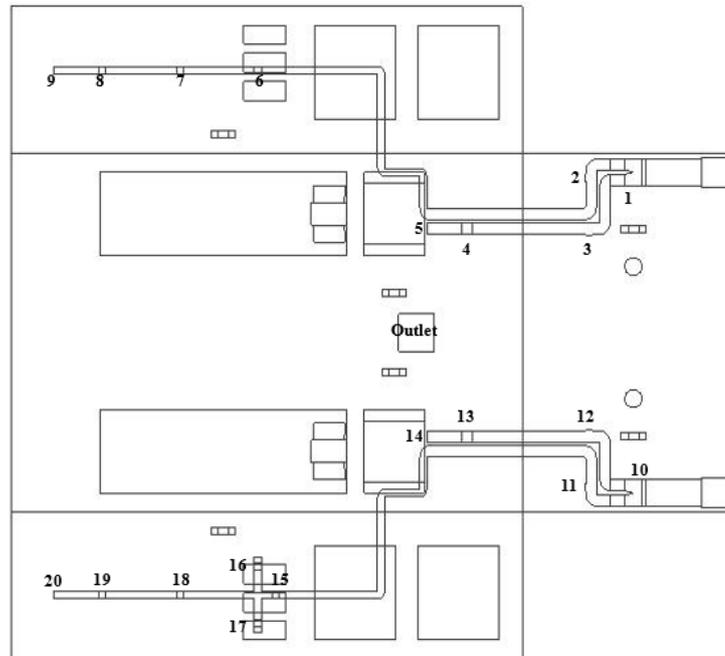
Tahap ini bertujuan untuk membuat model 3D dari aliran fluida yang akan disimulasikan. Geometri *ducting* ventilasi dan ruang mesin kapal pada penelitian ini dibuat menggunakan software Autodesk Inventor 2023 dapat dilihat pada Gambar 3.1. Ruang mesin kapal yang akan dianalisa memiliki panjang total 20,5 m, lebar 17,3 m dan tinggi 4,45 m.



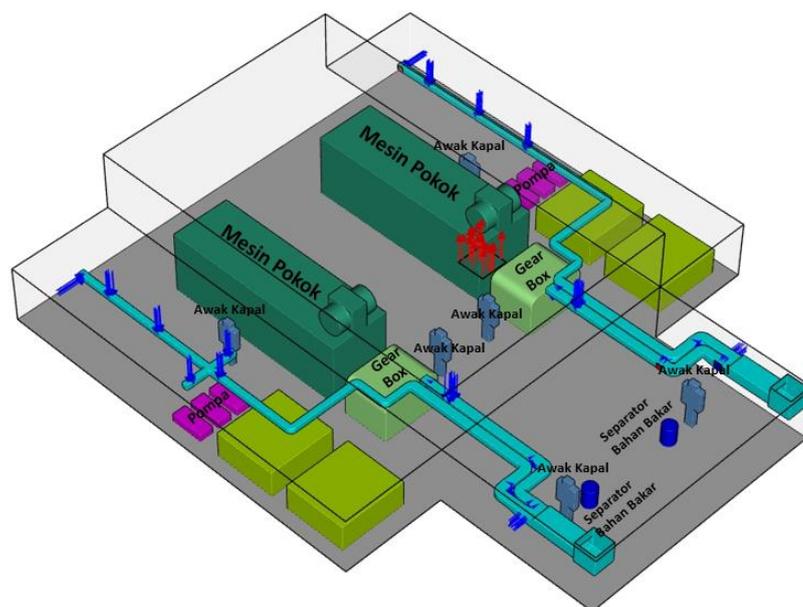
**Gambar 3. 1** Geometri Ruang Mesin Kapal Kelas Landing Ship Tank (LST)

## 2. Penentuan Domain

Tahap ini bertujuan untuk menentukan ruangan yang akan disimulasikan dalam analisis numerik aliran fluida. Domain ini harus mengacu pada kondisi operasi dan kondisi batas dari permasalahan aliran fluida. Pada Gambar 3.2, terdapat posisi dari *inlet* yang merupakan lokasi dari fluida yang masuk ke area ruangan dan juga posisi dari *outlet*. Pada Gambar 3.3 awak kapal dan peralatan ruang mesin seperti mesin pokok, *gear box* motor pompa air laut, motor pompa air tawar, motor pompa oli dan separator bahan bakar yang merupakan *wall* pada penelitian ini.



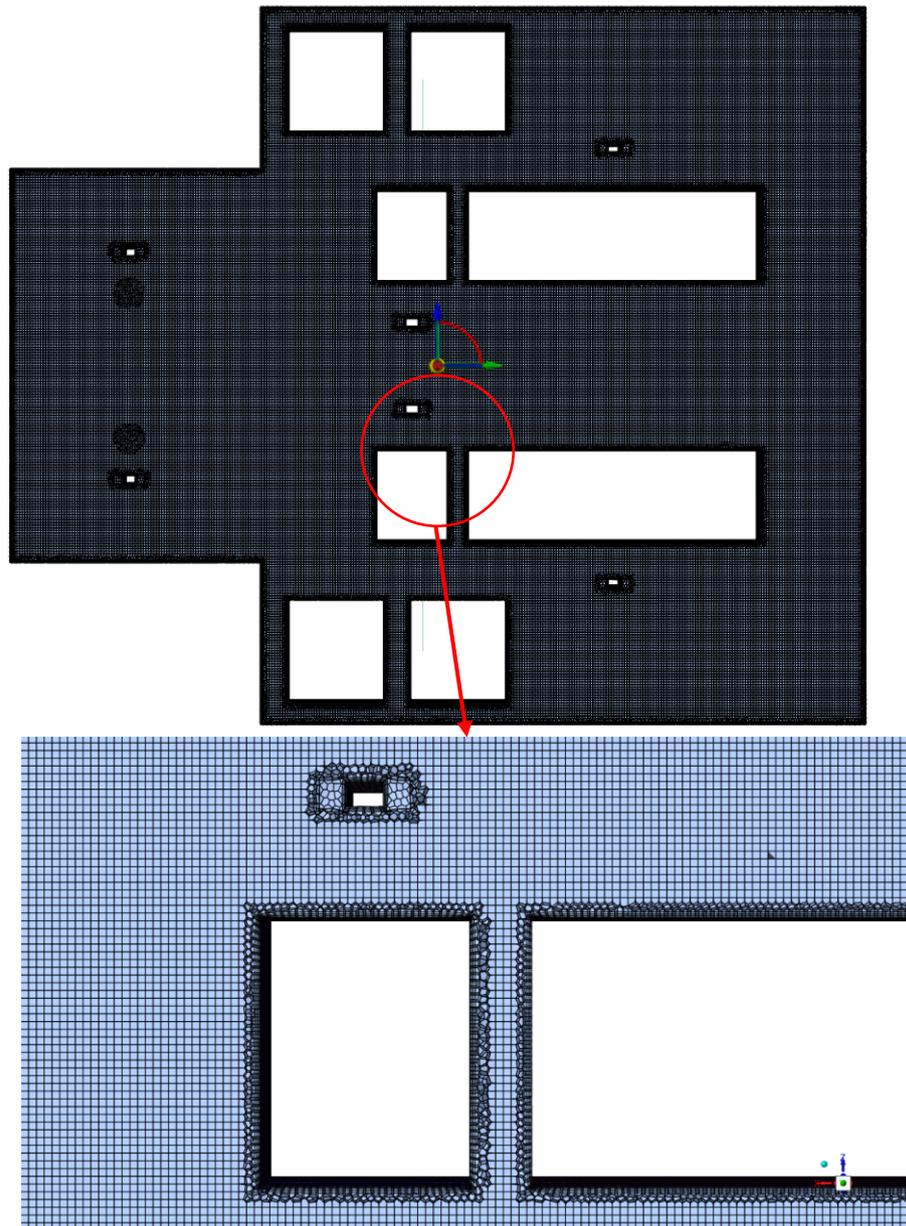
**Gambar 3. 2** Posisi Inlet dan *Outlet* Ventilasi Ruang Mesin



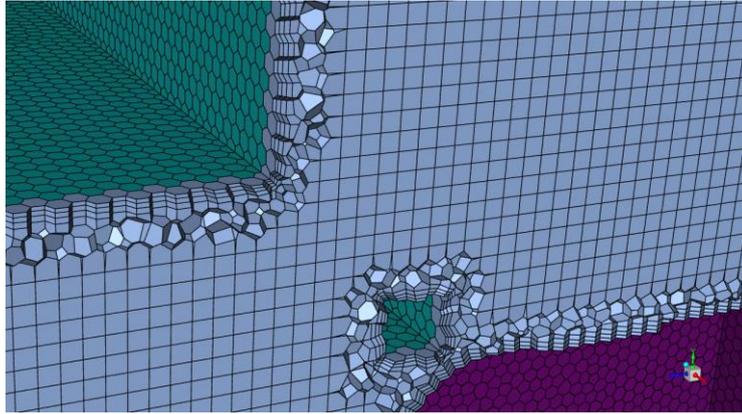
**Gambar 3. 3** Posisi Peralatan dan Awak Kapal Ruang Mesin

### 3. Pembuatan Mesh

Pada tahap *pre-processing* dalam analisis numerik aliran fluida, pembuatan mesh atau grid adalah langkah yang sangat penting. Tahap ini bertujuan untuk membuat mesh atau grid yang akan digunakan dalam analisis numerik aliran fluida. Jaringan ini harus mengacu pada kondisi operasi dan kondisi batas dari permasalahan aliran fluida. Jenis *meshing* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *structured poly-hexcore meshing* yang dapat dilihat pada gambar 3.4 dan 3.5.



**Gambar 3. 4** Tampak Atas Hasil Meshing



**Gambar 3. 5** Detail Hasil Meshing

### 3.3 Tahap Processing

Setelah dilakukan pembuatan Geometri, penentuan boundary condition, dan meshing selanjutnya dilakukan simulasi menggunakan software Ansys Fluent 2023. Adapun parameter yang digunakan dalam simulasi adalah sebagai berikut.

1. *Setup*

Pada tahap ini didefinisikan model, material, dan *input* untuk *boundary condition* untuk simulasi.

- *Model*

Pada tahap ini ditentukan *turbulence model* dari simulasi. *Turbulence model* yang digunakan dalam penelitian ini adalah k-ε RNG, untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada tabel 3.1.

**Tabel 3. 1** Model Turbulensi

<i>Model</i>	k-epsilon (2eqn)
<i>k-epsilon model</i>	RNG
<i>Near-Wall Treatment</i>	<i>Standard Wall Functions</i>
<i>Bouyancy Effects</i>	<i>Only Turbulence Production</i>
<i>Turbulent Viscosity</i>	<i>None</i>
<i>Wall Prandtl Number</i>	<i>None</i>
<i>Energy</i>	<i>On</i>

- *Material*

Material fluida yang digunakan adalah udara dengan  $\rho= 1,154 \text{ kg/m}^3$  dan  $\mu =1,7894 \times 10^{-5}$  yang didapatkan dari data material udara pada Ansys 2023 R2.

- *Boundary Condition*

Berikut Pada Tabel 3.2 sampai Tabel 3.4 adalah *boundary condition* yang digunakan pada penelitian ini. Pada tabel 3.2 ditunjukkan *boundary condition* untuk variasi kondisi desain dan kondisi modifikasi 2 dengan kapasitas *blower* 40000 cmh. Sedangkan tabel 3.3 ditunjukkan *boundary condition* untuk variasi kondisi modifikasi 1 dan kondisi modifikasi 2 dengan kapasitas *blower* 53479

cmh. Nilai *inlet* yang ditunjukkan pada tabel 3.2 dan 3.3 didapatkan dari simulasi *ducting* ventilasi dengan menggunakan *input* kapasitas *blower* pada *inlet ducting*.

**Tabel 3. 2** Boundary Condition Ruang Mesin untuk Kapasitas *Blower* 40000 cmh

No	Nama	Domain	Input
1	Main Engine	Wall	Heat Flux = 1875,85 w/m <sup>2</sup>
2	Gear Box	Wall	Temperatur = 77,1°C
3	Motor Pompa Oli	Wall	Temperatur = 63,3°C
4	Motor Pompa Air Tawar	Wall	Temperatur = 67,2°C
5	Motor Pompa Air Laut	Wall	Temperatur = 44,2°C
6	Separator Bahan Bakar	Wall	Temperatur = 67,4°C
7	Awak Kapal	Wall	Heat Flux = 65 w/m <sup>2</sup>
8	Inlet 1	Velocity Inlet	Velocity = 14,4 m/s
9	Inlet 2	Velocity Inlet	Velocity = 37,89 m/s
10	Inlet 3	Velocity Inlet	Velocity = 30,94 m/s
11	Inlet 4	Velocity Inlet	Velocity = 15,06 m/s
12	Inlet 5	Velocity Inlet	Velocity = 20,03 m/s
13	Inlet 6	Velocity Inlet	Velocity = 37,23 m/s
14	Inlet 7	Velocity Inlet	Velocity = 31,96 m/s
15	Inlet 8	Velocity Inlet	Velocity = 29,81 m/s
16	Inlet 9	Velocity Inlet	Velocity = 29,78 m/s
17	Inlet 10	Velocity Inlet	Velocity = 6,53 m/s
18	Inlet 11	Velocity Inlet	Velocity = 10,5 m/s
19	Inlet 12	Velocity Inlet	Velocity = 26,17 m/s
20	Inlet 13	Velocity Inlet	Velocity = 7,65 m/s
21	Inlet 14	Velocity Inlet	Velocity = 16,53 m/s
22	Inlet 15	Velocity Inlet	Velocity = 31,27 m/s
23	Inlet 16	Velocity Inlet	Velocity = 28,37 m/s
24	Inlet 17	Velocity Inlet	Velocity = 24,08 m/s
25	Inlet 18	Velocity Inlet	Velocity = 25,72 m/s
24	Inlet 19	Velocity Inlet	Velocity = 21,91 m/s
25	Inlet 20	Velocity Inlet	Velocity = 23,72 m/s

**Tabel 3. 3** Boundary Condition Ruang Mesin untuk Kapasitas *Blower* 53479 cmh

No	Nama	Domain	Input
1	Main Engine	Wall	Heat Flux = 1875,85 w/m <sup>2</sup>

2	Gear Box	Wall	Temperatur = 77,1°C
3	Motor Pompa Oli	Wall	Temperatur = 63,3°C
4	Motor Pompa Air Tawar	Wall	Temperatur = 67,2°C
5	Motor Pompa Air Laut	Wall	Temperatur = 44,2°C
6	Separator Bahan Bakar	Wall	Temperatur = 67,4°C
7	Awak Kapal	Wall	Heat Flux = 65 w/m <sup>2</sup>
8	Inlet 1	Velocity Inlet	Velocity = 18,6 m/s
9	Inlet 2	Velocity Inlet	Velocity = 52,17 m/s
10	Inlet 3	Velocity Inlet	Velocity = 44,04 m/s
11	Inlet 4	Velocity Inlet	Velocity = 19,54 m/s
12	Inlet 5	Velocity Inlet	Velocity = 26,89 m/s
13	Inlet 6	Velocity Inlet	Velocity = 44,15 m/s
14	Inlet 7	Velocity Inlet	Velocity = 42,82 m/s
15	Inlet 8	Velocity Inlet	Velocity = 39,11 m/s
16	Inlet 9	Velocity Inlet	Velocity = 37,75 m/s
17	Inlet 10	Velocity Inlet	Velocity = 7,96 m/s
18	Inlet 11	Velocity Inlet	Velocity = 14,01 m/s
19	Inlet 12	Velocity Inlet	Velocity = 35,9 m/s
20	Inlet 13	Velocity Inlet	Velocity = 9,98 m/s
21	Inlet 14	Velocity Inlet	Velocity = 22,11 m/s
22	Inlet 15	Velocity Inlet	Velocity = 41,85 m/s
23	Inlet 16	Velocity Inlet	Velocity = 37,98 m/s
24	Inlet 17	Velocity Inlet	Velocity = 32,13 m/s
25	Inlet 18	Velocity Inlet	Velocity = 34,26 m/s
24	Inlet 19	Velocity Inlet	Velocity = 29,26 m/s
25	Inlet 20	Velocity Inlet	Velocity = 31,74 m/s

**Tabel 3. 4** *Boundary Condition* Ducting Ventilasi dan *Outlet* Ruang Mesin

Variasi	Kapasitas Blower Pada Inlet Ducting	Outlet Pada Ruang Mesin	Input	Keterangan
Kondisi Desain	40000 cmh, V= 17,36 m/s	Pressure outlet	Gauge pressure = 0 Pa	Natural
Kondisi Modifikasi 1	53479 cmh, V=23.21 m/s	Pressure outlet	Gauge pressure = 0 Pa	Natural
Kondisi Modifikasi 2	40000 cmh, V= 17,36 m/s	Exhaust fan	Exhaust fan = 16.6 m/s	Exhaust fan, Positive Room Pressure 0.05 kPa
Kondisi Modifikasi 3	53479 cmh, V=23.21 m/s	Exhaust fan	Exhaust fan = 24.13 m/s	Exhaust fan, Positive Room Pressure 0.05 kPa

## 2. Solution Method

Pada *solution method* digunakan *second order* untuk *gradient*, *pressure*, *momentum*, *turbulent kinetic energy* dan *energy* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.5. Hal ini dilakukan untuk menambah akurasi hasil simulasi dibandingkan dengan *first order*. Akan tetapi, dengan penggunaan *second order* memang dapat menambah waktu yang dibutuhkan untuk melakukan simulasi.

**Tabel 3. 5** Konfigurasi pada Solution Method

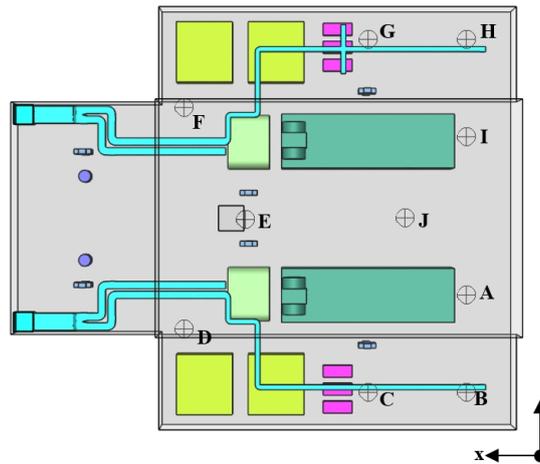
<b><i>Pressure-Velocity Coupling Scheme</i></b>	<i>Coupled</i>
<b><i>Spatial Discretization</i></b>	<i>Least Squares Cell Based</i>
<b><i>Gradient</i></b>	<i>Second Order</i>
<b><i>Pressure</i></b>	<i>Second Order Upwind</i>
<b><i>Momentum</i></b>	<i>Second Order Upwind</i>
<b><i>Turbulent Kinetic Energy</i></b>	<i>Second Order Upwind</i>
<b><i>Turbulent Dissipation Rate</i></b>	<i>Second Order Upwind</i>
<b><i>Energy</i></b>	<i>Second Order Upwind</i>

## 3.4 Tahap Post-Processing

Tahap ini bertujuan untuk memperoleh data hasil simulasi untuk kemudian dianalisa. Data hasil simulasi dapat berupa data kuantitatif dan data kualitatif. Data kuantitatif yang diperoleh berupa nilai kecepatan, temperatur, dan tekanan udara. Data kuantitatif tersebut diperoleh pada titik-titik pengamatan yang dapat dilihat pada Tabel 3.6 dan Gambar 3.6.

**Tabel 3. 6** Titik Pengamatan Ruang Mesin

<b>Titik</b>	<b>X (m)</b>	<b>Y (m)</b>	<b>Z (m)</b>
A	2	1.8	5.5
B	2	1.8	1.5
C	6	1.8	1.5
D	13.5	1.8	4.1
E	11	1.8	8.6
F	13.5	1.8	13.2
G	6	1.8	16
H	2	1.8	16
I	2	1.8	12
J	4.25	1.8	8.65



**Gambar 3. 6** Lokasi Titik Pengamatan Ruang Mesin

Selain data kuantitatif, hasil simulasi yang diperoleh adalah data kualitatif. Data kualitatif yang diperoleh pada penelitian ini berupa kontur kecepatan, temperatur, dan tekanan udara pada bidang X/L, Y/H dan Z/W dimana L, H dan W berturut-turut adalah panjang, tinggi dan lebar ruang mesin kapal yang posisi masing masing bidang dapat dilihat pada Tabel 3.7 hingga 3.9, dan ilustrasi posisi bidang dapat dilihat pada gambar 3.7 hingga 3.9. Selain itu, juga dapat diperoleh data kualitatif berupa *streamline* aliran udara pada ruang mesin.

**Tabel 3. 7** Posisi Bidang Kontur X/L

Posisi	X (m)	X/L
X1	6	0.29
X2	10.85	0.53
X3	17.65	0.86

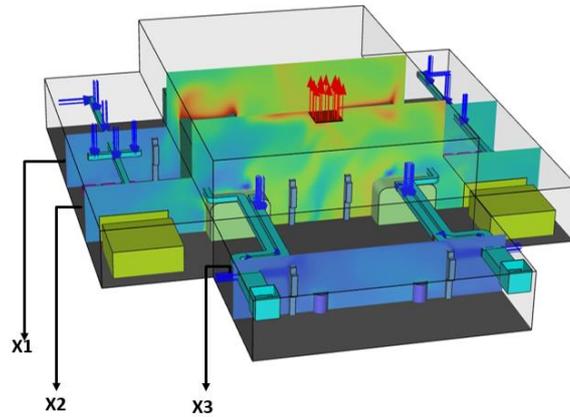
**Tabel 3. 8** Posisi Bidang Kontur Y/H

Posisi	Y (m)	Y/H
Y1	1	0.22
Y2	1.7	0.38
Y3	2.5	0.56

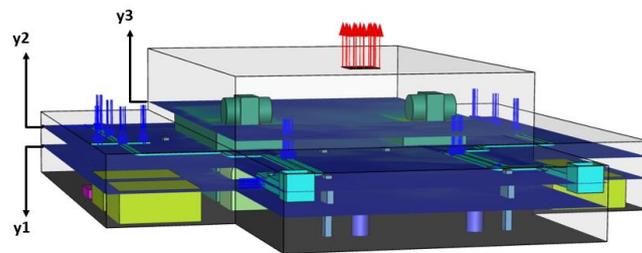
**Tabel 3. 9** Posisi Bidang Kontur Z/W

Posisi	Z (m)	Z/W
Z1	3.4	0.20
Z2	5.9	0.34
Z3	7.6	0.44
Z4	8.65	0.50
Z5	9.7	0.56
Z6	11.4	0.66

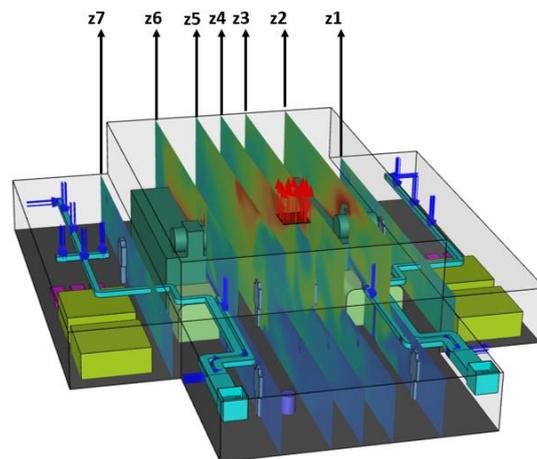
Z7	13.9	0.80
----	------	------



**Gambar 3. 7** Bidang Kontur X/L



**Gambar 3. 8** Bidang Kontur Y/H



**Gambar 3. 9** Bidang Kontur Z/W

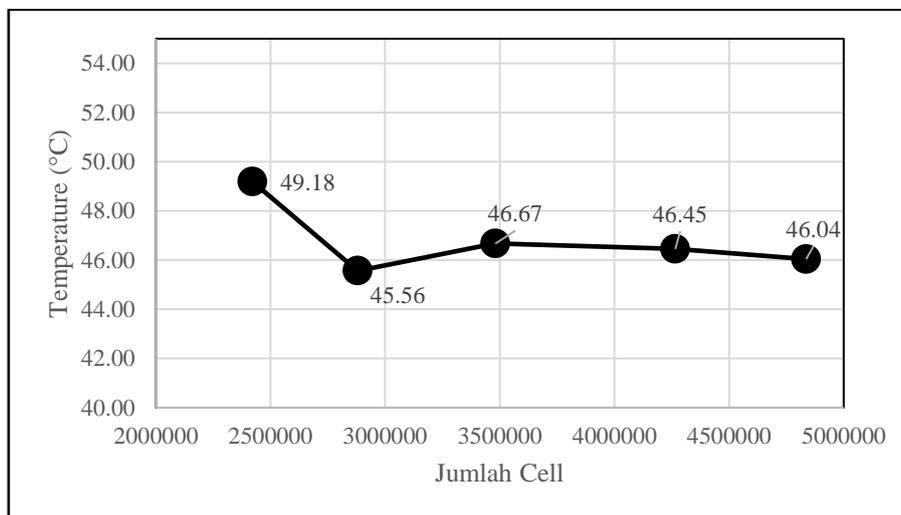
### 3.5 *Grid Independency Test (GIT)*

Proses *Grid Independency Test (GIT)* perlu dilakukan untuk memastikan bahwa solusi yang diperoleh tidak bergantung pada ukuran mesh yang digunakan. Ini dilakukan dengan

membandingkan hasil solusi dari mesh kasar ke mesh lebih halus. Jika hasil solusi tidak berubah signifikan dengan perubahan ukuran mesh, maka solusi ini dapat disebut sebagai solusi *grid independent*. *Grid Independency Test* dilakukan pada titik koordinat  $x=2.25$  m;  $y=1.8$  m;  $z=8.65$  m pada kondisi beban mesin 100% dengan membandingkan nilai temperatur pada titik tersebut. Dari tabel dapat dilihat bahwa nilai temperatur sudah tidak berubah secara signifikan pada jumlah *cell* diatas 4,2 juta. Oleh karena perubahan nilai temperatur relatif kecil, maka dipilih meshing dengan *cell* sejumlah 4265479. Tabel hasil *Grid Independency Test* dan grafik perubahan temperatur pada masing-masing jumlah *cell* dapat dilihat pada tabel 3.10 dan gambar 3.10.

**Tabel 3. 10** Hasil *Grid Independency Test*

Index	Jumlah Cell	Temperature (°C)	Relative Error (%)
Mesh A	2422640	49.18	-
Mesh B	2880836	45.56	7.4%
Mesh C	3480678	46.67	2.4%
Mesh D	4265479	46.45	0.5%
Mesh E	4836081	46.04	0.9%



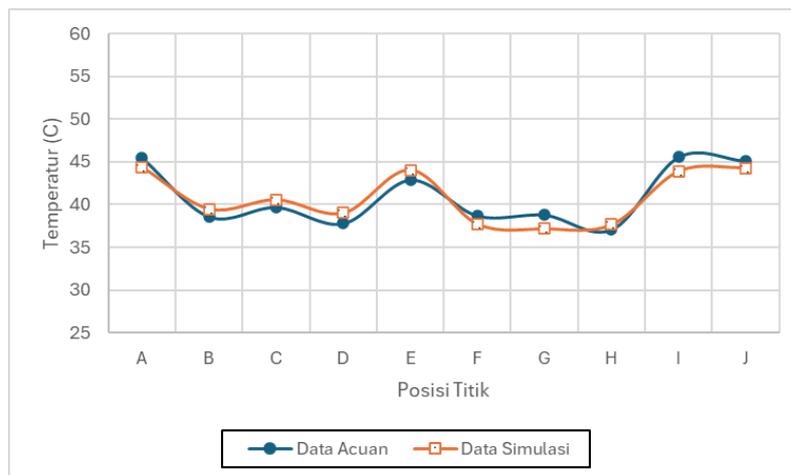
**Gambar 3. 10** Grafik *Grid Independency Test*

### 3.6 Validasi

Validasi pada penelitian ini menggunakan temperatur yang telah diambil pada beberapa titik pada ruang mesin kapal kelas *Landing Ship Tank* yang kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi. Dari hasil simulasi pada tabel 3.11 dan gambar 3.11 menunjukkan bahwa simulasi yang dilakukan telah mendekati kondisi asli dari ruang mesin kapal.

**Tabel 3. 11** Perbandingan Hasil Data Acuan dan Data Simulasi

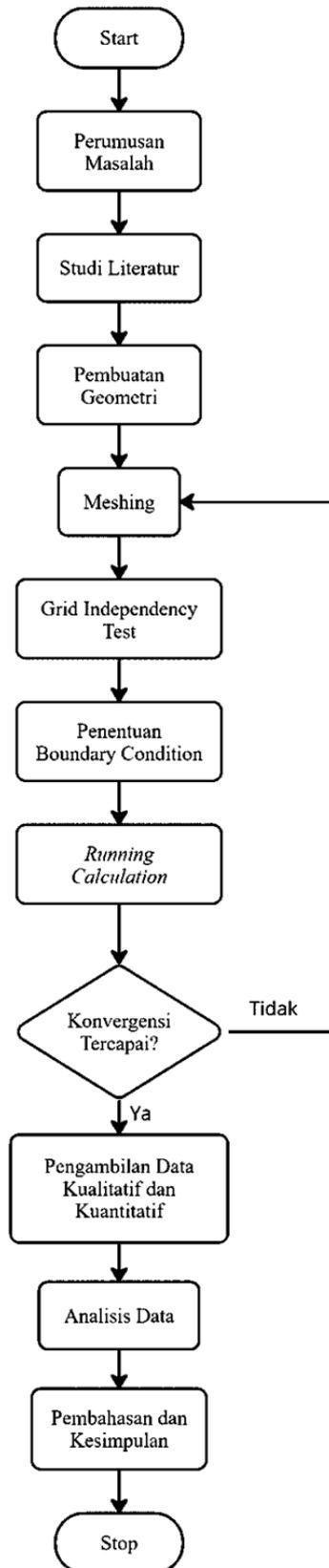
Titik	Data Acuan	Data Simulasi	Error
A	45.5	44.36	2.57%
B	38.6	39.50	2.28%
C	39.7	40.57	2.14%
D	37.8	39.02	3.13%
E	42.9	44.03	2.57%
F	38.7	37.73	2.57%
G	38.8	37.19	4.33%
H	37.1	37.68	1.54%
I	45.6	43.90	3.87%
J	45.1	44.30	1.81%



**Gambar 3. 11** Grafik Perbandingan Hasil Data Acuan dan Data Simulasi

### 3.7 Diagram Alir Penelitian

Berikut pada Gambar 3.12 adalah diagram alir pada penelitian kali ini.



**Gambar 3. 12** Diagram Alir Penelitian



## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

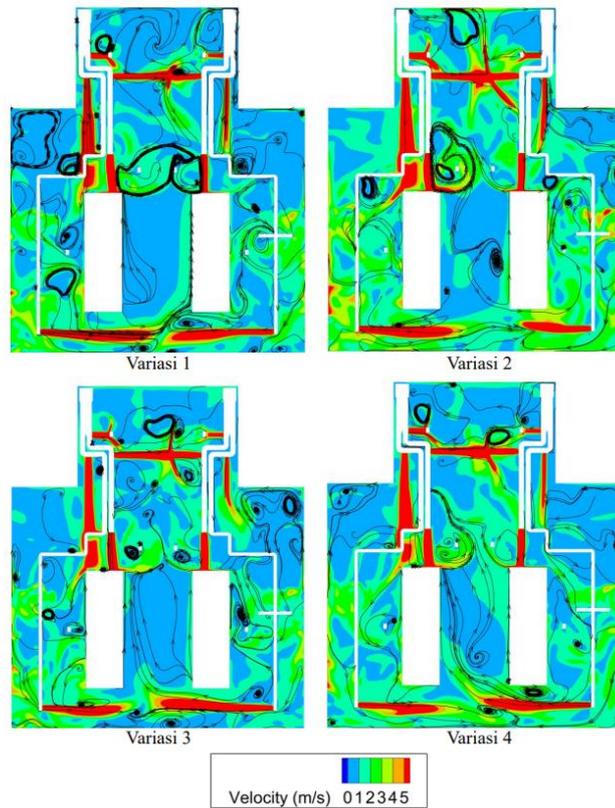
Pada bab ini akan dilakukan pembahasan terkait pola aliran udara, temperatur dan tekanan pada ruang mesin kapal *Landing Ship Tank*. Data hasil simulasi yang diperoleh pada penelitian ini diperoleh dari simulasi numerik dengan *Computational Fluid Dynamic* (CFD) Ansys Fluent 2023 R2 yang kemudian diolah menggunakan Tecplot 2023. Data pola aliran udara pada ruang mesin disajikan dengan kontur kecepatan dan aliran udara pada ruang mesin pada setiap variasi. Data kualitatif pada temperatur disajikan dengan kontur temperatur pada setiap variasi, sementara data kuantitatif pada temperatur disajikan dengan grafik temperatur rata-rata pada setiap bidang untuk setiap variasi dan disajikan juga temperatur rata-rata pada ruang mesin secara keseluruhan pada setiap variasi. Data kualitatif pada tekanan udara ruang mesin disajikan dengan kontur tekanan pada setiap variasi dan data kuantitatif dari tekanan udara disajikan dengan grafik tekanan rata-rata pada ruang mesin kapal *Landing Ship Tank*.

Untuk variasi simulasi pada penelitian ini sendiri yang pertama adalah kondisi saat ini dari ruang mesin kapal *Landing Ship Tank* dimana kapasitas untuk masing-masing *blower* adalah 40000 cmh. Pada variasi kedua dilakukan penambahan kapasitas pada setiap *blower* menjadi 54379 cmh. Pada variasi ketiga menggunakan kapasitas masing-masing *blower* 40000 cmh dengan ditambahkan *exhaust fan* pada sisi *outlet*. Pada variasi keempat dilakukan penambahan kapasitas pada setiap *blower* menjadi 54379 cmh dan ditambahkan juga *exhaust fan* pada sisi *outlet*.

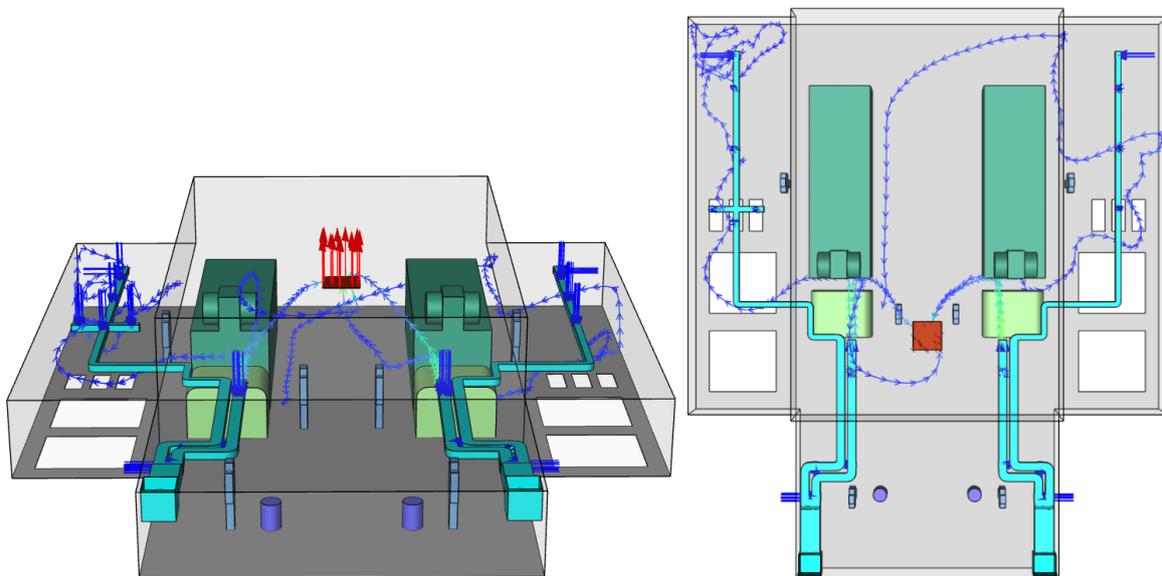
#### **4.1 Distribusi Kecepatan Udara Pada Ruang Mesin**

Pada gambar 4.1 dapat dilihat aliran udara yang mengalir di ruang mesin. Pada pola aliran udara ruang mesin terdapat beberapa *secondary flow*, terutama pada tempat-tempat yang memiliki temperatur yang tinggi. Hal ini disebabkan karena terdapat panas yang mengendap, seperti pada bagian atas mesin pokok, dimana mesin pokok menghasilkan panas ketika beroperasi, terdapat aliran udara yang berpusar diatas ruang mesin karena panas dari mesin yang mengendap.

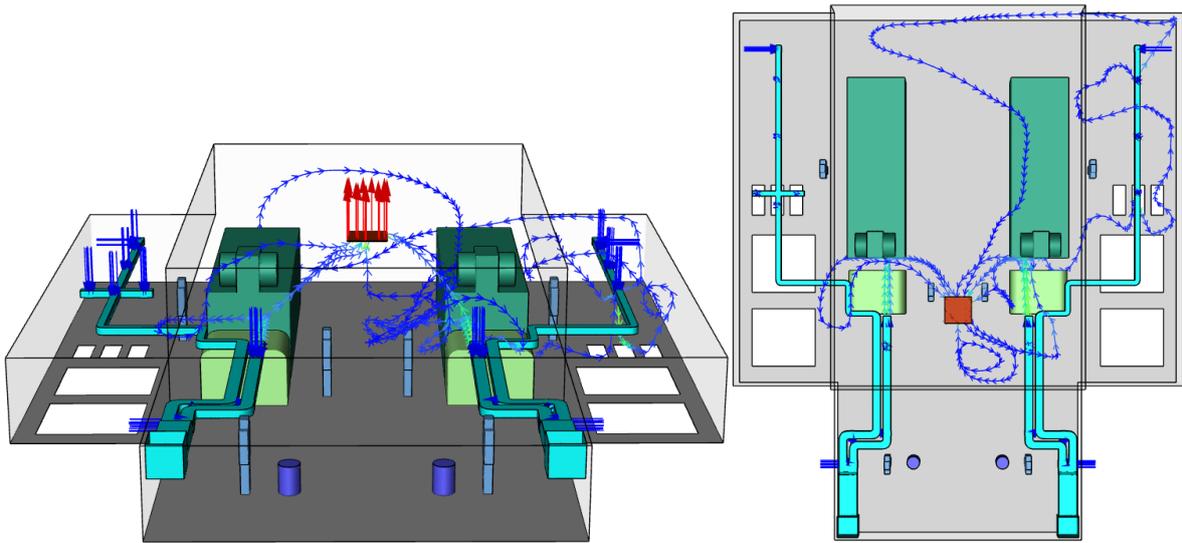
Dari gambar 4.2 dan 4.3 pada variasi 1 dan 2 terlihat udara yang keluar dari ventilasi mengalir sampai ke bagian belakang ruang mesin, dengan aliran udara dari luar yang memiliki temperatur relatif lebih rendah daripada temperatur ruang mesin, aliran udara yang mengalir sampai ke bagian belakang ruang mesin akan menurunkan temperatur pada banyak bagian pada ruang mesin. Sementara itu, dari gambar 4.4 dan 4.5 pada variasi 3 dan 4 yang ditambahkan *exhaust fan*, aliran udara yang keluar dari ventilasi tidak sampai mengalir keseluruh ruang mesin kapal, tetapi langsung dihisap oleh *exhaust fan*, sehingga aliran udara yang masuk dari ventilasi tidak sempat mendinginkan bagian-bagian dalam ruang mesin. Kondisi inilah yang menyebabkan pada penambahan *exhaust fan*, temperatur rata-rata pada ruang mesin meningkat dibandingkan tanpa ditambahkan *exhaust fan*. Hal ini bisa terjadi karena posisi *exhaust fan* yang terlalu dekat dengan posisi kisi-kisi ventilasi.



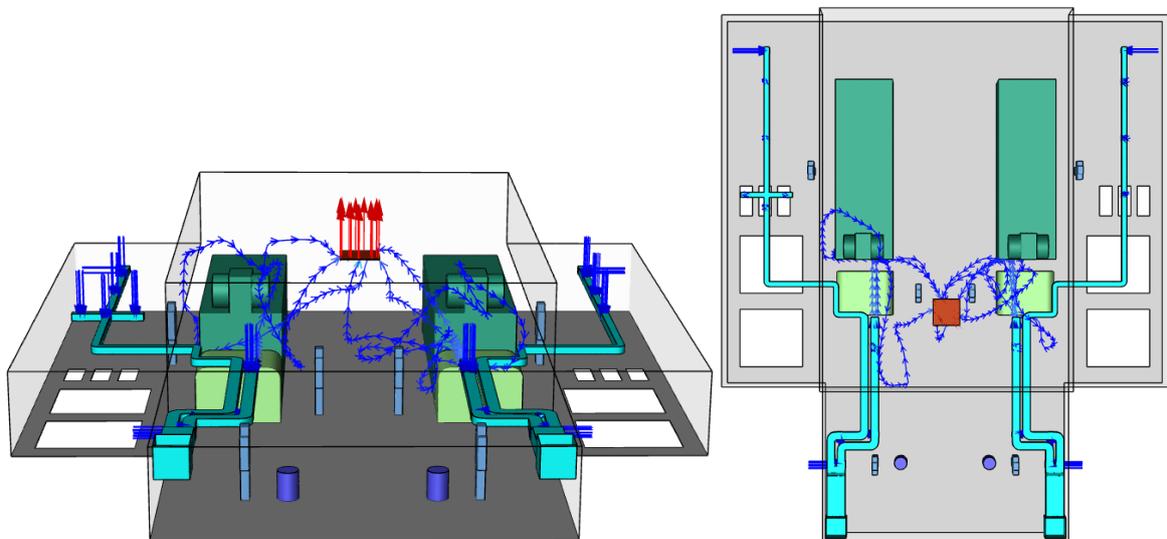
**Gambar 4.1** Kontur Kecepatan Pada Bidang  $Y/H=0.38$



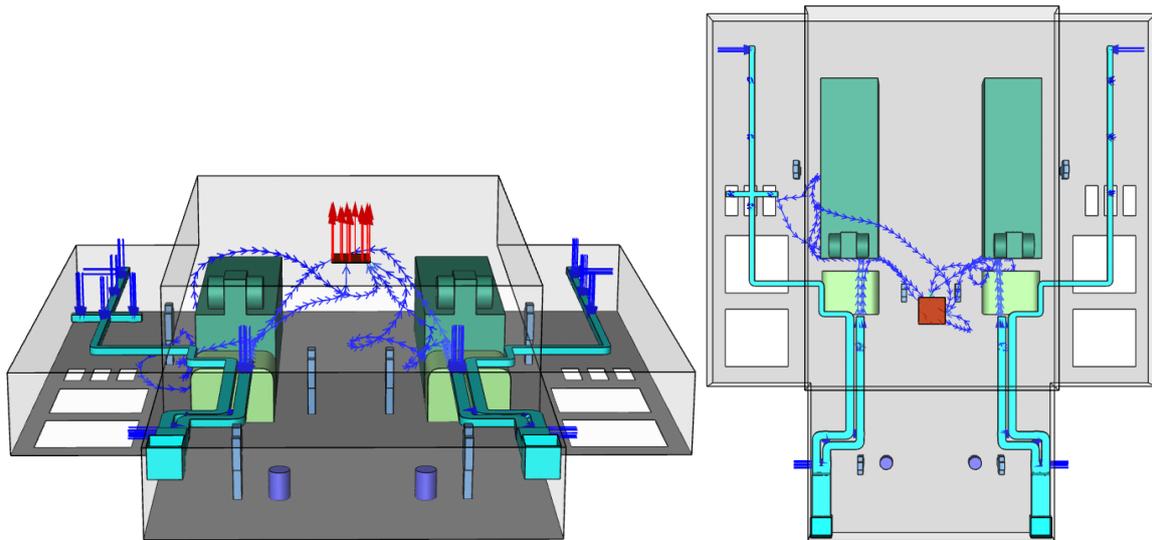
**Gambar 4.2** *Velocity Pathline* untuk Aliran Udara dari *Inlet 5* dan *14* pada Variasi 1



**Gambar 4.3** *Velocity Pathline* untuk Aliran Udara dari *Inlet 5* dan *14* pada Variasi 2



**Gambar 4.4** Aliran Udara Dari *Inlet 5* Dan *14* Pada Variasi 3

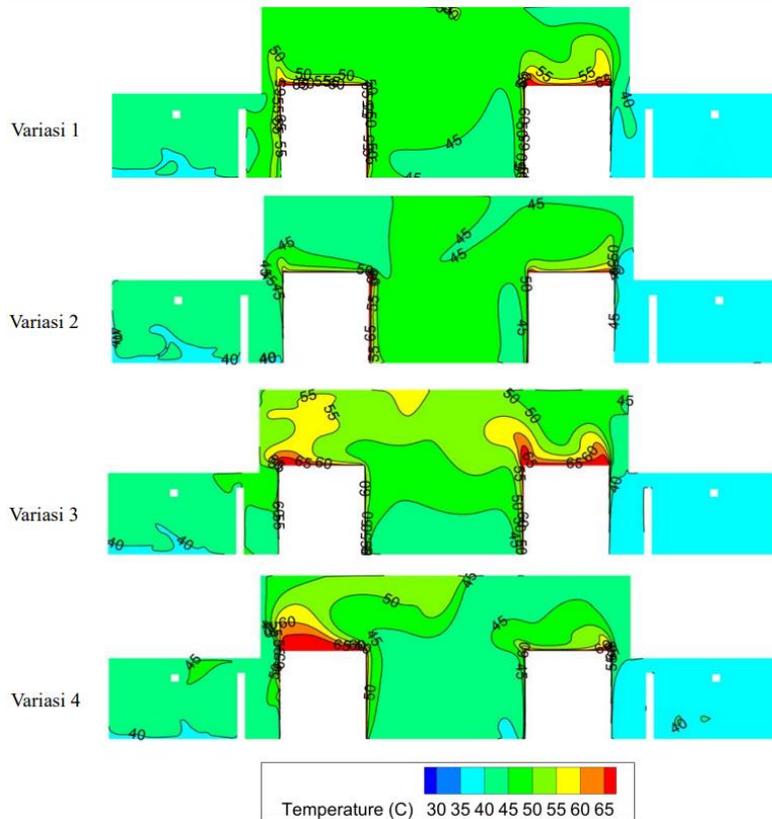


**Gambar 4.5** Aliran Udara Dari Inlet 5 Dan 14 Pada Variasi 4

## 4.2 Distribusi Temperatur Udara Pada Ruang Mesin

Gambar 4.6 menunjukkan kontur temperatur pada bidang X/L. Pada gambar 4.1 kontur X/L=0.29 terlihat bahwa penambahan kapasitas *blower* pada variasi 2 dapat mengurangi temperatur yang dilihat dari warna pada rentang 48-54°C yang berkurang. Penambahan kapasitas *blower* membuat jumlah udara yang masuk ke ruang mesin lebih banyak, dimana udara dari luar yang disuplai masuk memiliki temperatur yang lebih rendah daripada rata-rata temperatur pada ruang mesin. Pada variasi 3 terlihat panas dari mesin utama yang mengalir ke atas ke arah *outlet* dari ruang mesin, dari penambahan *exhaust fan* pada ruang mesin dapat menghisap panas dari mesin yang ada keluar. Pada salah satu sisi kontur terdapat sisi ruang mesin yang memiliki temperatur yang relatif lebih rendah daripada sisi lainnya, hal ini dikarenakan pada bagian tersebut terdapat lebih banyak *inlet* ventilasi yang memberikan suplai udara untuk mendinginkan udara pada sisi tersebut.

Dari data yang diperoleh pada tabel 4.1, Temperatur rata-rata pada variasi 1 pada bidang X/L=0.29, X/L=0.53, dan X/L=0.86 berturut-turut adalah 45.2°C, 43.8°C, dan 35.8°C. Temperatur rata-rata pada variasi 2 pada bidang X/L=0.29, X/L=0.53, dan X/L=0.86 berturut-turut adalah 43.6°C, 42.6°C, 36°C. Temperatur rata-rata pada variasi 3 pada bidang X/L=0.29, X/L=0.53, dan X/L=0.86 berturut-turut adalah 46.6°C, 44.2°C, 35.6 °C. Temperatur rata-rata pada variasi 4 pada bidang X/L=0.29, X/L=0.53, dan X/L=0.86 berturut-turut adalah 44.6 °C, 42.7 °C, 35.3°C. Dari temperatur rata-rata yang diperoleh, menunjukkan daerah X/L=0.29 dan X/L=0.53 yang berada di sekitar mesin pokok memiliki temperatur yang relatif lebih tinggi dibandingkan daerah X3. Dari setiap bidang kontur menunjukkan bahwa pada variasi 2 memiliki temperature yang lebih rendah dibandingkan variasi yang lain. Kondisi ini menunjukkan bahwa dengan penambahan kapasitas *blower* dapat menurunkan temperatur rata-rata pada ruang mesin. Sedangkan, penambahan *exhaust fan* membuat temperatur relatif lebih tinggi dengan kapasitas *blower* yang sama.



**Gambar 4.6** Kontur Temperatur Pada Bidang X/L=0.29

**Tabel 4.1** Temperatur Rata-Rata Pada Bidang X/L

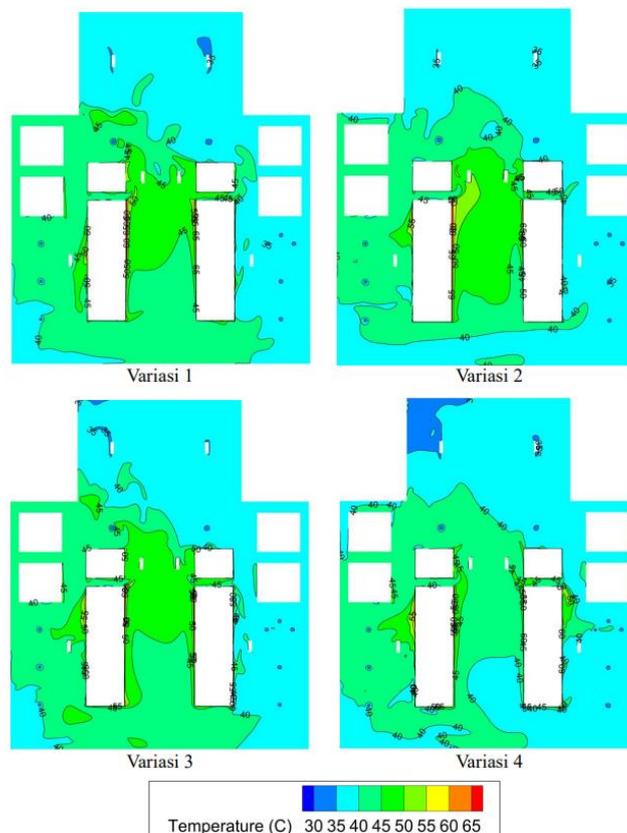
Temperatur Rata-Rata (°C)				
X/L	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3	Variasi 4
0.29	45.2	43.6	46.6	44.6
0.53	43.8	42.6	44.2	42.7
0.86	35.8	36.0	35.6	35.3

Gambar 4.7 menunjukkan kontur temperatur pada bidang Y/H. Pada gambar 4.7 kontur Y/H=0.22 dapat dilihat bahwa penambahan kapasitas *blower* pada variasi 2 dapat menurunkan temperatur pada bagian depan, belakang dan samping dari ruang mesin, tetapi panas yang ada lebih banyak berkumpul pada bagian tengah ruang mesin. Pada bidang Y/H=0.22 variasi 3 dapat dilihat bahwa penambahan *exhaust fan* membuat panas yang ada lebih banyak berkumpul di tengah ruang mesin. Pada permukaan Y/H=0.22 dapat dilihat dengan penambahan kapasitas *blower* dapat menurunkan temperatur ruang mesin, terutama pada daerah separator bahan bakar.

Berdasarkan data yang diperoleh pada tabel, temperatur rata-rata pada variasi 1 pada bidang Y/H=0.22, Y/H=0.38, dan Y/H=0.56 berturut-turut adalah 40.8°C, 40.9°C, 49.9°C. Temperatur rata-rata pada variasi 2 pada bidang Y/H=0.22, Y/H=0.38, dan Y/H=0.56 berturut-

turut adalah 40.5°C, 40.6°C, 46.7°C. Temperatur rata-rata pada variasi 3 pada bidang Y/H=0.22, Y/H=0.38, dan Y/H=0.56 berturut-turut adalah 41°C, 41.3°C, 50.9°C. Temperatur rata-rata pada variasi 4 pada bidang Y/H=0.22, Y/H=0.38, dan Y/H=0.56 berturut-turut adalah 39.8°C, 40.3°C, 49.3°C.

Dari data temperatur rata-rata pada bidang kontur Y/H, semakin tinggi posisi bidang maka semakin tinggi temperatur rata-ratanya, hal ini dikarenakan panas yang ada pada ruangan cenderung terangkat ke bagian atas ruangan. Pada tiap bidang kontur Y/H, variasi 2 dan 4 dapat membuat temperatur rata-rata ruang mesin turun. Kondisi ini menunjukkan bahwa penambahan kapasitas *blower* dapat menurunkan temperatur rata-rata ruang mesin. Sementara itu, pada penambahan *exhaust fan* terlihat bahwa temperatur rata-rata ruang mesin menjadi naik, hal ini dapat disebabkan karena aliran udara yang berasal dari ventilasi sudah terhisap terlebih dahulu oleh *exhaust fan* sebelum sempat menjangkau sudut-sudut ruang mesin.



**Gambar 4.7** Kontur Temperatur Pada Bidang Y/H=0.22

**Tabel 4.2** Temperatur Rata-Rata Pada Bidang Y/H

Temperatur Rata-Rata (°C)				
Y/H	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3	Variasi 4
0.22	40.8	40.5	41.0	39.8
0.38	40.9	40.6	41.3	40.3
0.56	49.9	46.7	51.0	49.3

Pada gambar 4.8 bidang Z/W dapat dilihat bahwa dengan penambahan kapasitas *blower* dapat menurunkan temperatur pada ruang mesin. Dengan penambahan *exhaust fan* yang dapat dilihat pada variasi 3 dapat diamati bahwa panas yang berasal dari mesin terhisap keatas menuju *outlet*. Pada permukaan Z/W=0.66 dapat dilihat bahwa kontur temperatur yang awalnya berwarna merah (menandakan temperatur diatas 60°C) dapat turun pada penambahan kapasitas *blower*. Dari gambar kontur temperatur bidang Z/W, terlihat bahwa bagian ruangan yang memiliki temperatur tinggi berada pada sekitar mesin pokok, sehingga tidak disarankan berada terlalu lama disekitar mesin pokok.

Temperatur rata-rata pada variasi 1 pada bidang Z/W=0.20, Z/W=0.34, Z/W=0.44, Z/W=0.50, Z/W=0.56, Z/W=0.66 dan Z/W=0.80 berturut-turut adalah 42.3°C, 45.3°C, 44.5°C, 42.6°C, 43°C, 38.7°C, 43.8°C. Temperatur rata-rata pada variasi 2 pada bidang Z/W=0.20, Z/W=0.34, Z/W=0.44, Z/W=0.50, Z/W=0.56, Z/W=0.66 dan Z/W=0.80 berturut-turut adalah 41.5°C, 42.1°C, 43.4°C, 42.2°C, 41.4°C, 38.1°C, 42.9°C. Temperatur rata-rata pada variasi 3 pada bidang Z/W=0.20, Z/W=0.34, Z/W=0.44, Z/W=0.50, Z/W=0.56, Z/W=0.66 dan Z/W=0.80 berturut-turut adalah 42.9°C, 46.4°C, 44.8°C, 43.4°C, 43.9°C, 38.7°C, 44.36°C. Temperatur rata-rata pada variasi 4 pada bidang Z/W=0.20, Z/W=0.34, Z/W=0.44, Z/W=0.50, Z/W=0.56, Z/W=0.66 dan Z/W=0.80 berturut-turut adalah 41.8°C, 45.9°C, 42.2°C, 41.1°C, 42.1°C, 38.2°C, 41.8°C.

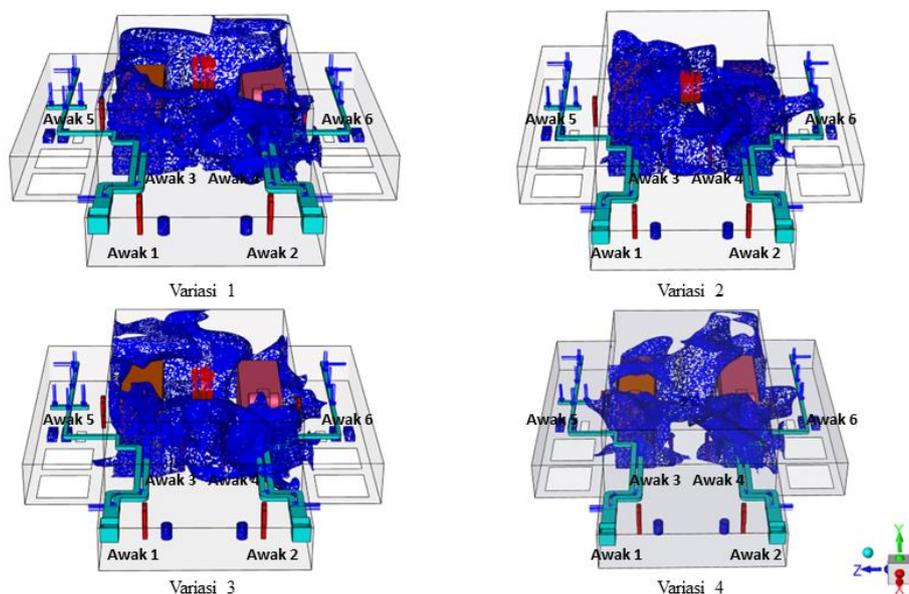
Dari tabel 4.3 temperatur rata-rata pada bidang Z/W, pada posisi sekitar mesin pokok menunjukkan temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan posisi bidang yang lain, terutama di bagian Z/W=0.20 dan Z/W=0.80 yang berada pada bagian samping ruang mesin. Pada bidang Z/W=0.34 dan Z/W=0.66 yang sama-sama berada pada sekitar mesin pokok, bidang Z/W=0.66 menunjukkan temperatur rata-rata yang lebih rendah, hal ini dikarenakan pada sisi bagian Z/W=0.66 memiliki jumlah kisi-kisi ducting ventilasi yang lebih banyak. Pada tiap bidang kontur Z/W menunjukkan bahwa pada variasi 2 dan 4 dapat menurunkan temperatur rata-rata pada ruang mesin.

Pada gambar 4.8 adalah kontur temperatur yang memiliki temperature diatas 45°C sesuai Standar BKI. Dapat dilihat bahwa pada setiap variasi, posisi awak 1 dan 2 tidak terpapar dengan udara dengan temperature diatas 45°C, pada posisi tersebut memang memiliki temperatur udara yang relatif lebih rendah dibandingkan daerah lain di ruang mesin. Posisi awak yang terpapar udara panas tersebut pada variasi 1 dan 3 ada pada awak 3, 4 dan 6. pada variasi 2 daerah yang memiliki kontur temperature diatas 45°C terlihat berkurang dibandingkan variasi 1 atau kondisi desain. Pada variasi 4 dengan penambahan kapasitas *blower* dan penambahan *exhaust fan* terlihat daerah yang memiliki kontur temperatur diatas 45°C berkurang dibandingkan dengan variasi lainnya, daerah yang memiliki kontur temperatur diatas 45°C juga berkurang pada sekitar awak 3 dan 4.

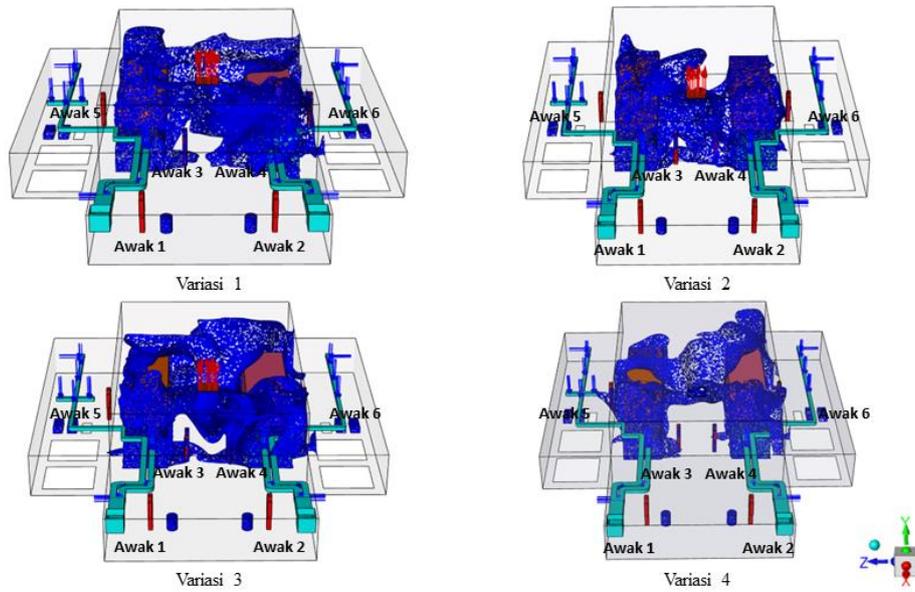
Pada Gambar adalah kontur temperature yang memiliki temperature 47,5°C sesuai Standar Iso 8861:1998. Dapat dilihat bahwa pada setiap variasi, posisi awak 1 dan 2 tidak terpapar dengan udara dengan temperature 47,5°C, pada posisi tersebut memang memiliki temperatur

udara yang relatif lebih rendah dibandingkan daerah lain di ruang mesin. Posisi awak yang terpapar udara panas tersebut pada variasi 1 dan 3 ada pada awak 3, 4 dan 6. pada variasi 2 terlihat berkurangnya udara panas pada sekitar awak 6 dengan penambahan kapasitas blower, untuk daerah yang memiliki kontur temperatur  $47,5^{\circ}\text{C}$  juga terlihat berkurang dibandingkan variasi 1 atau kondisi desain. Pada variasi 4 dengan penambahan kapasitas blower dan penambahan exhaust fan terlihat daerah yang memiliki kontur temperatur  $47,5^{\circ}\text{C}$  berkurang dibandingkan dengan variasi lainnya, daerah yang memiliki kontur temperatur  $47,5^{\circ}\text{C}$  juga berkurang pada sekitar awak 3 dan 4.

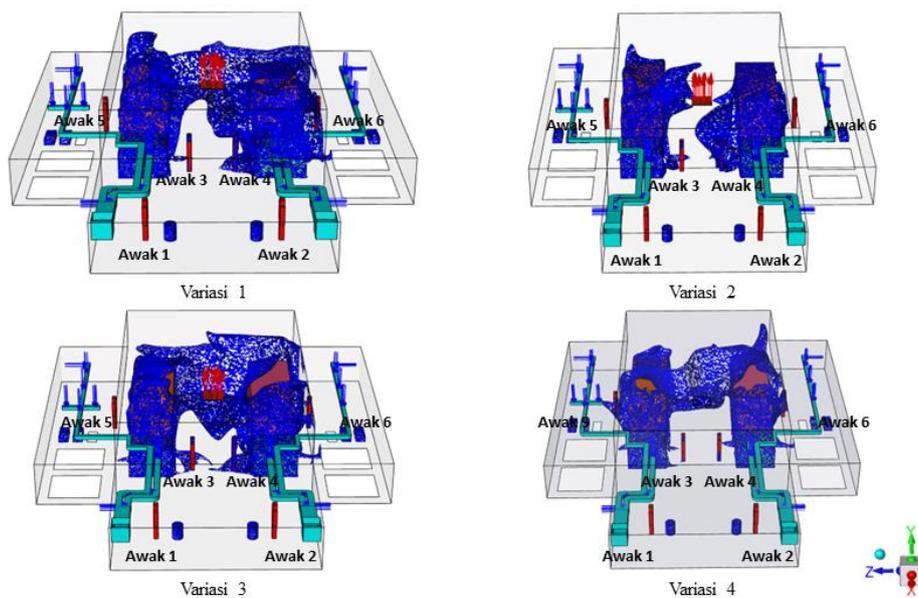
Pada Gambar adalah kontur temperature yang memiliki temperatur  $49^{\circ}\text{C}$  sesuai Standar Catterpillar. Dapat dilihat bahwa pada setiap variasi, posisi awak 1 dan 2 tidak terpapar dengan udara dengan temperature  $49^{\circ}\text{C}$ , pada posisi tersebut memang memiliki temperatur udara yang relatif lebih rendah dibandingkan daerah lain di ruang mesin. Posisi awak yang terpapar udara panas tersebut pada variasi 1 dan 3 ada pada awak 4 dan 6. pada variasi 2 terlihat berkurangnya udara panas pada sekitar awak 6 dengan penambahan kapasitas blower, untuk daerah yang memiliki kontur temperatur  $49^{\circ}\text{C}$  juga terlihat berkurang dibandingkan variasi 1 atau kondisi desain. Pada variasi 4 dengan penambahan kapasitas blower dan penambahan exhaust fan terlihat daerah yang memiliki kontur temperatur  $49^{\circ}\text{C}$  berkurang dibandingkan dengan variasi lainnya, daerah yang memiliki kontur temperatur  $49^{\circ}\text{C}$  juga berkurang pada sekitar awak 3 dan 4.



**Gambar 4.8** Kontur Temperatur Diatas  $45^{\circ}\text{C}$



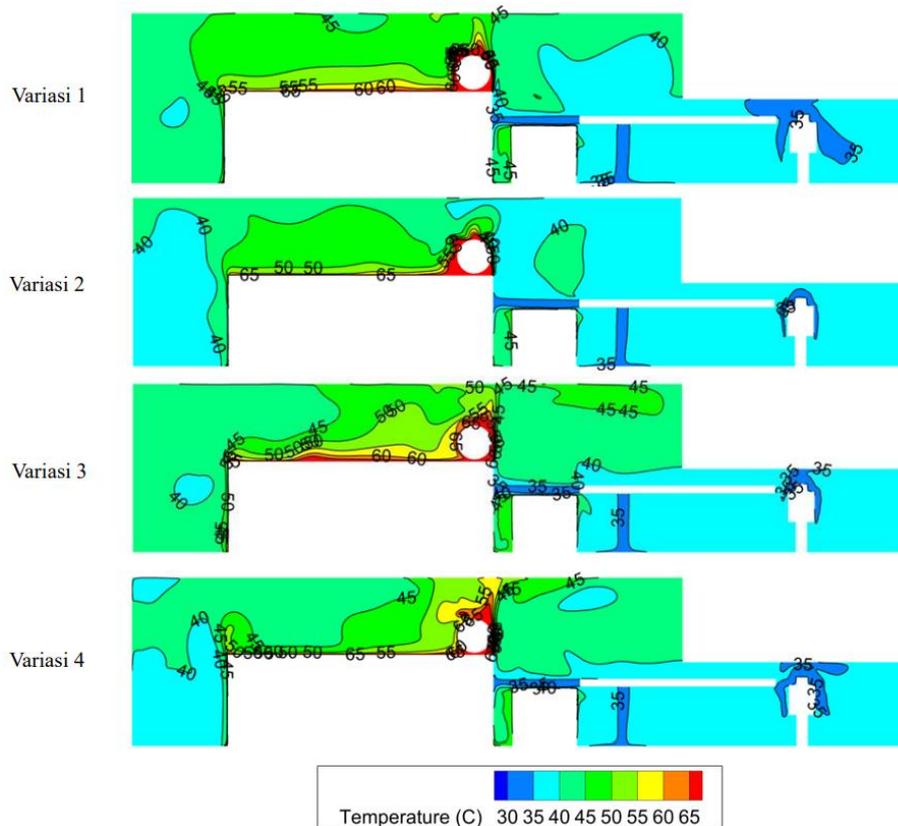
**Gambar 4.9** Kontur Temperatur Diatas 47,5°C



**Gambar 4.10** Kontur Temperatur Diatas 49°C

Dari gambar 4.12 sampai 4.14 menunjukkan bahwa penambahan *exhaust fan* membuat temperatur cenderung naik, hal ini dikarenakan aliran udara yang baru keluar dari ventilasi langsung mengalir keluar melalui *exhaust fan* sebelum mendinginkan ruang mesin seperti yang telah dibahas pada subbab 4.1. Selain itu, penambahan kapasitas *blower* dapat menurunkan temperatur rata-rata pada ruang mesin, dikarenakan aliran massa udara yang berasal dari ventilasi semakin banyak, dimana aliran udara ini memiliki temperatur yang relatif lebih dingin. Dari gambar 4.15 juga memperlihatkan hal yang sama, dimana temperatur rata-rata pada ruang mesin secara keseluruhan mengalami penurunan pada penambahan kapasitas *blower*, dan mengalami kenaikan temperatur pada pemberian *exhaust fan*. Penurunan temperatur pada variasi penambahan kapasitas *blower* ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Zani,

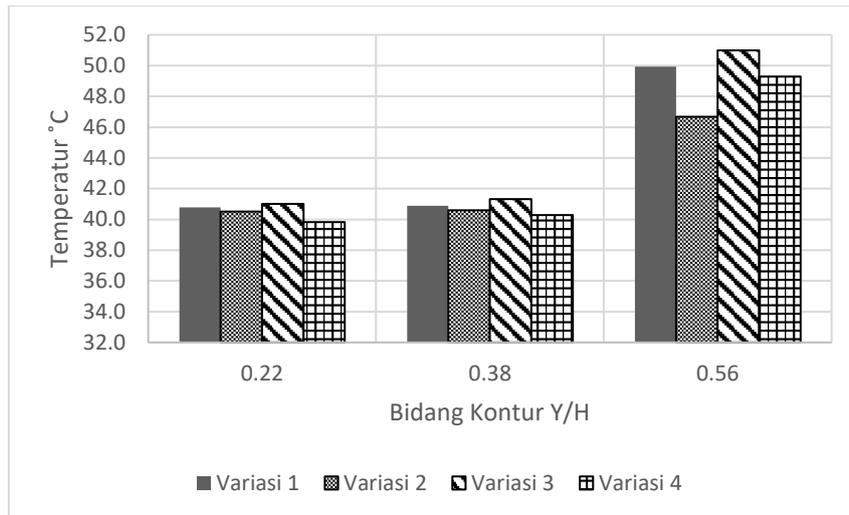
et al pada tahun 2022 [5]. Dengan penambahan kapasitas *blower* pada variasi 2 temperatur rata-rata yang diperoleh berada dibawah batas temperatur pada ruang mesin menurut Biro Klasifikasi Indonesia yaitu  $45^{\circ}\text{C}$ , yang membuat kondisi udara pada ruang mesin lebih aman untuk para awak kapal yang ada disana.



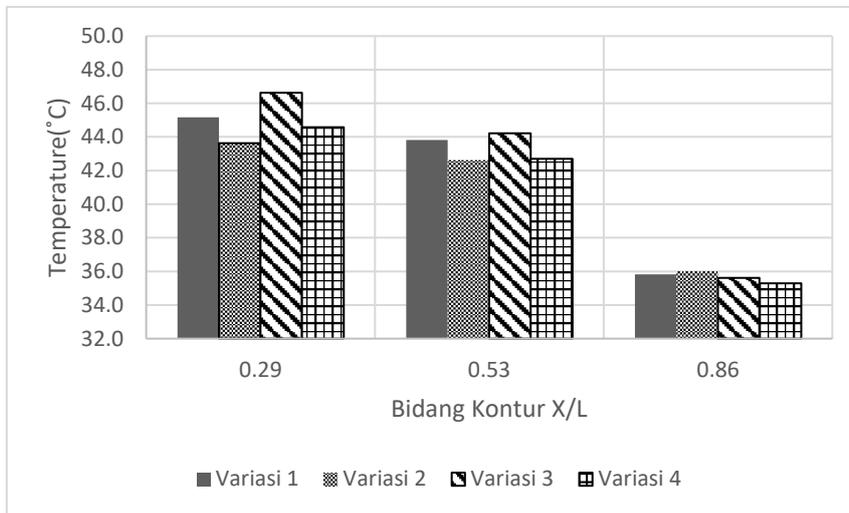
**Gambar 4.11** Kontur Temperatur pada Bidang Z6=11.4m

**Tabel 4.3** Temperatur Rata-Rata pada Bidang Z/W

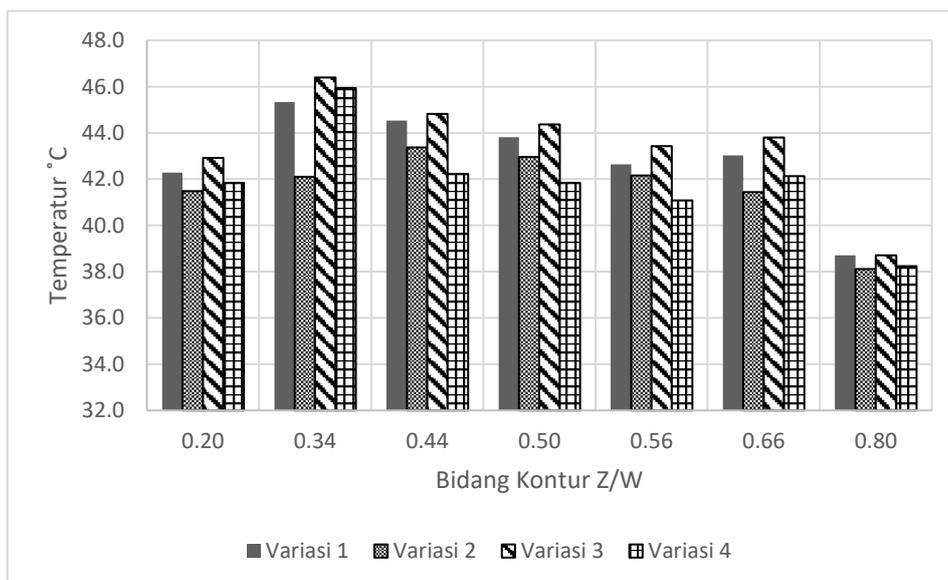
Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )				
Z/W	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3	Variasi 4
0.20	42.3	41.5	42.9	41.8
0.34	45.3	42.1	46.4	45.9
0.44	44.5	43.4	44.8	42.2
0.50	42.6	42.2	43.4	41.1
0.56	43.0	41.4	43.8	42.1
0.66	38.7	38.1	38.7	38.2
0.80	43.8	43.0	44.4	41.8



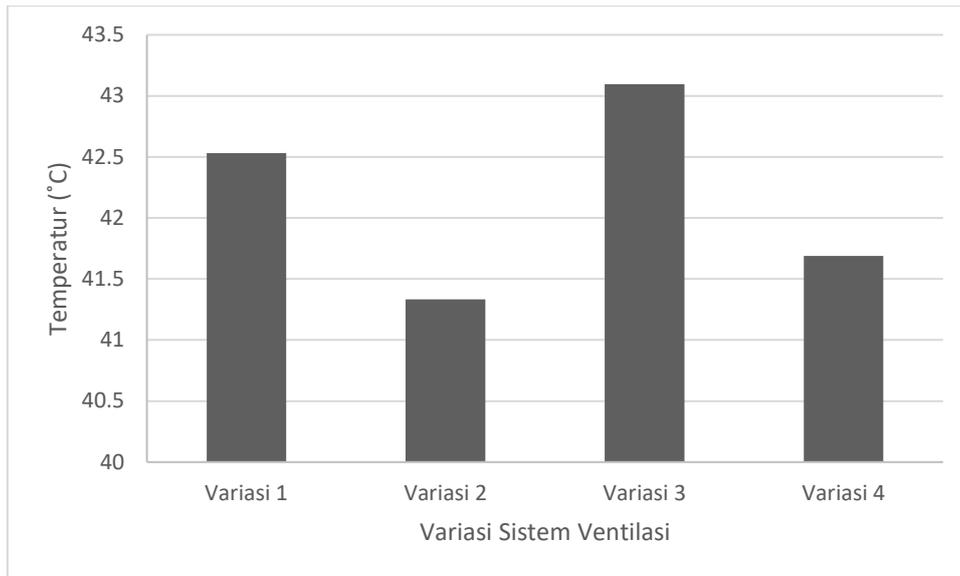
**Gambar 4.12** Temperatur Rata-Rata Pada Bidang Kontur X/L



**Gambar 4.13** Temperatur Rata-Rata Pada Bidang Kontur Y/H



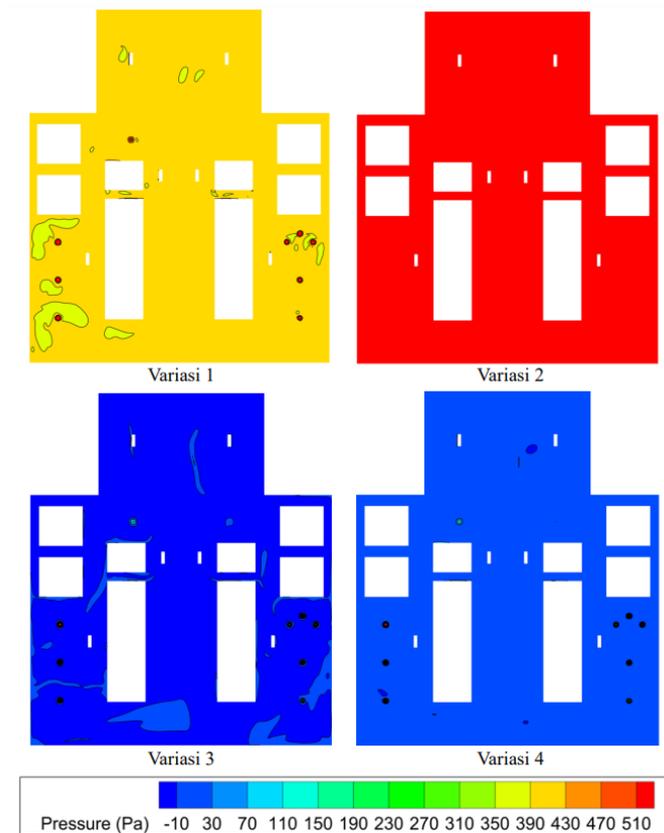
**Gambar 4.14** Temperatur Rata-Rata Pada Bidang Kontur Z/W



**Gambar 4.15** Temperatur Rata-Rata Pada Ruang Mesin Kapal

### 4.3 Distribusi Tekanan Udara Pada Ruang Mesin

Pada gambar 4.13 dapat dilihat bahwa dengan penambahan kapasitas *blower* dapat meningkatkan tekanan pada ruang mesin. Pada kondisi saat ini atau variasi 1, tekanan rata-rata pada ruang mesin berkisar pada 390 Pa, pada penambahan kapasitas *blower*, tekanan rata-rata meningkat menjadi diatas 680 Pa. Ketika dilakukan penambahan *exhaust fan*, tekanan rata-rata pada ruang mesin menjadi *negative pressure* yang berkisar -4 sampai -12 Pa pada variasi 3 dan meningkat ketika penambahan kapasitas *blower* pada variasi 4 yang berkisar -3.6 sampai 3.9 Pa. Kondisi ini menunjukkan dengan penambahan kapasitas *blower* dapat meningkatkan tekanan udara pada ruang mesin, hal ini dikarenakan aliran massa udara yang masuk semakin banyak. Sementara itu, penambahan *exhaust fan* dapat menyebabkan penurunan tekanan udara pada ruang mesin. Hal yang sama juga terlihat pada grafik 4.14, tekanan udara rata-rata pada keseluruhan ruang mesin kapal menunjukkan kenaikan tekanan pada penambahan kapasitas *blower* dan terjadi penurunan tekanan pada pemberian *exhaust fan*. Berdasarkan penelitian oleh Widiarta et al, 2022 [13] penurunan tekanan ini dapat diakibatkan oleh semakin banyak aliran massa udara yang keluar karena penambahan *exhaust fan*. Perubahan tekanan ruangan menjadi negatif masih masuk kedalam rekomendasi yang ada pada caterpillar dimana pada ruang mesin yang memiliki negative pressure, tidak melebihi -0.1275 kPa atau -127.5 Pa.



**Gambar 4.16** Kontur Tekanan Pada Bidang Y1=1m

**Tabel 4.4** Tekanan Udara Setiap Variasi Pada Bidang Kontur X/L

Tekanan (Pa)				
X/L	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3	Variasi 4
0.29	394.3	691.2	-10.8	-1.8
0.53	393.7	689.6	-11.6	-2.8
0.86	396.7	694.5	-8.7	0.7

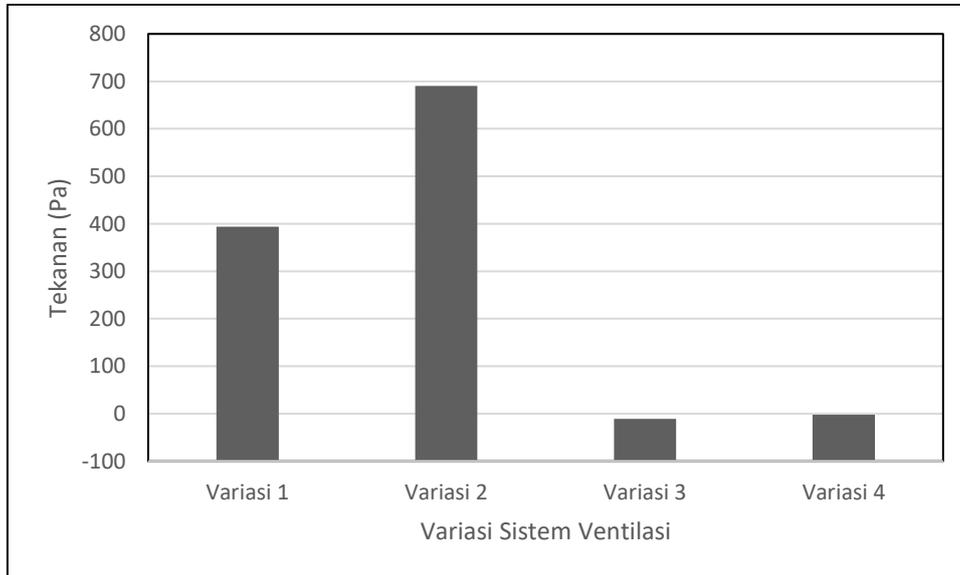
**Tabel 4.5** Tekanan Udara Setiap Variasi Pada Bidang Kontur Y/H

Tekanan (Pa)				
Y/H	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3	Variasi 4
0.22	394.0	690.7	-11.3	-2.2
0.38	400.3	701.9	-4.9	3.9
0.56	392.8	688.2	-12.6	-3.6

**Tabel 4.6** Tekanan Udara Setiap Variasi Pada Bidang Kontur Z/W

Tekanan (Pa)				
Z/W	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3	Variasi 4
0.20	393.6	690.1	-11.6	-2.8
0.34	397.0	696.0	-8.1	0.9

0.44	393.2	688.7	-12.1	-3.0
0.50	393.6	689.9	-11.3	-2.7
0.56	395.6	692.4	-9.8	-0.8
0.66	394.0	691.8	-10.5	-2.0
0.80	393.3	688.6	-11.9	-2.7



**Gambar 4.17** Tekanan Udara Rata-Rata Pada Ruang Mesin Kapal

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan terkait ventilasi udara pada ruang mesin kapal Landing Ship Tank dengan penambahan kapasitas *blower* dan penambahan *exhaust fan* yang disimulasikan menggunakan ANSYS Fluent 2023 R2 menghasilkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Variasi dengan kondisi udara yang sesuai dengan standar temperatur dan tekanan udara adalah variasi 2 dan 4, dimana pada variasi 2 kapasitas *blower* ditingkatkan dari 40000 cmh menjadi 54379 cmh, dan pada variasi 4 kapasitas *blower* ditingkatkan dari 40000 cmh menjadi 54379 cmh dan dilakukan penambahan *exhaust fan* pada sisi *outlet*.
2. Penambahan kapasitas *blower* dapat menurunkan temperatur pada ruang mesin sesuai dengan batas rekomendasi temperatur ruang mesin karena aliran massa udara yang masuk lebih banyak, dimana udara yang masuk memiliki temperatur yang relatif lebih rendah.
3. Penambahan *exhaust fan* pada posisi *outlet* yang ada, dapat menghisap udara yang ada pada ruang mesin, sehingga udara dari ventilasi langsung terhisap keluar sebelum menyebar ke ruang mesin.
4. Penambahan kapasitas *blower* membuat tekanan dari ruang mesin meningkat dikarenakan aliran massa udara yang masuk meningkat sehingga densitas udara meningkat.
5. Penambahan *exhaust fan* membuat tekanan pada ruang mesin turun dikarenakan aliran massa udara yang keluar lebih banyak dibandingkan tanpa *exhaust fan*.

#### **5.2 Saran**

Pada penelitian yang dilakukan oleh penulis ini masih terdapat kekurangan yang dapat digunakan sebagai pengembangan penelitian selanjutnya. Adapun saran yang penulis berikan adalah sebagai berikut.

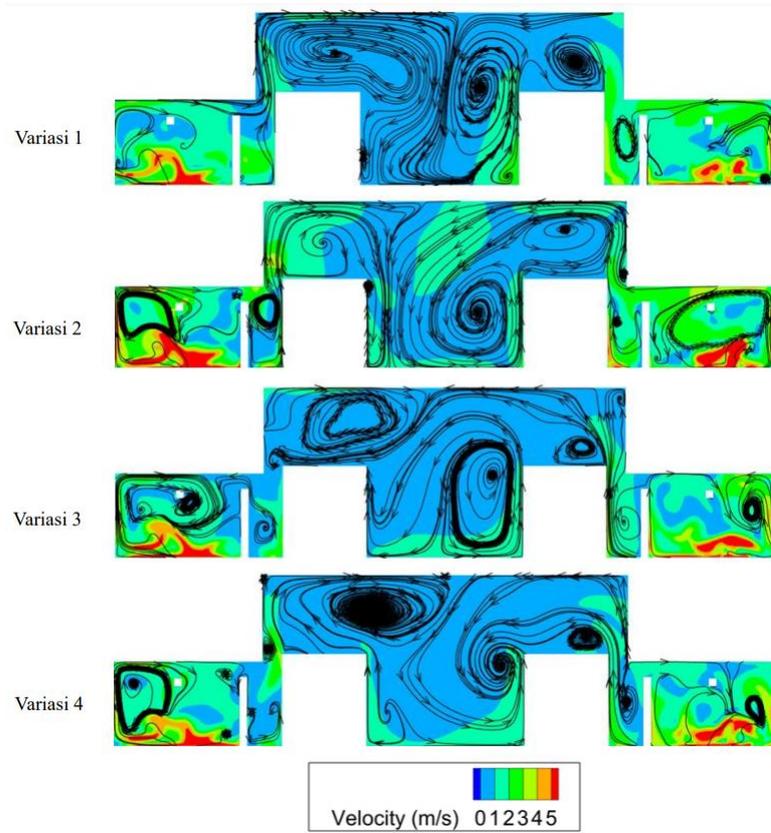
1. Melakukan analisa numerik terkait perubahan kondisi udara pada ruang mesin yang meliputi temperatur, tekanan dan kecepatan udara pada tiap waktunya.
2. Menambahkan variasi letak *outlet* pada ruang mesin terutama pada posisi yang tidak terlalu dekat dengan kisi-kisi ventilasi dan tepat diatas mesin pokok yang merupakan sumber panas pada ruang mesin.

## DAFTAR PUSTAKA

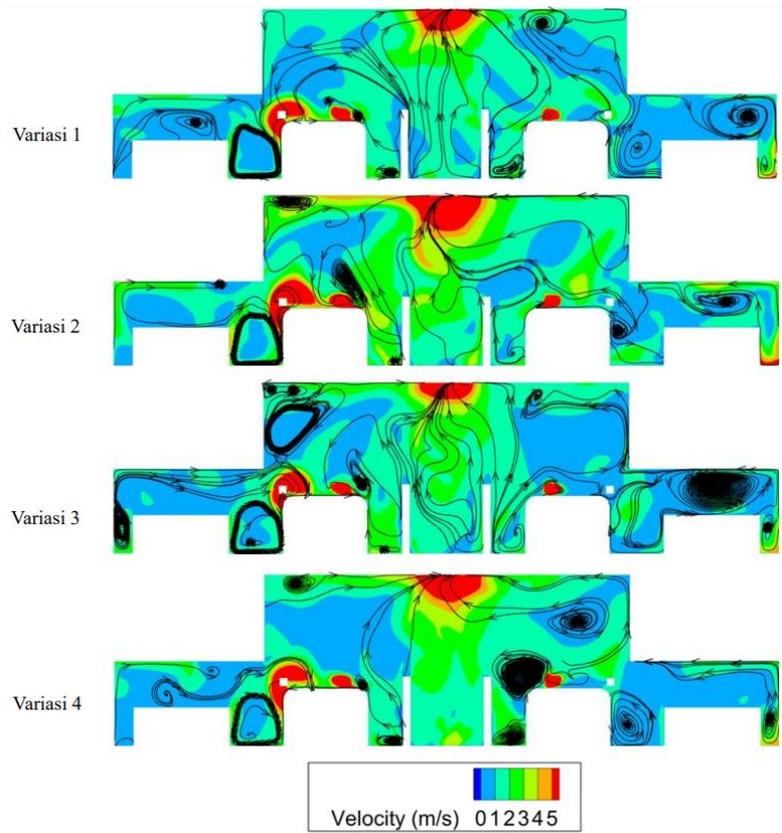
- [1] ISO 8861. (1998). Shipbuilding Engine-Room. *Ventilation in Diesel-Engined Ships – Design. Requirements and Basis of Calculations.*
- [2] Handbook, A. F. (1997). ASHRAE Fundamentals Handbook. Inc.
- [3] Catterpillar.(2015). Application & Installation Guide Engine Room Ventilation. *Catterpillar.*
- [4] Biro Klasifikasi Indonesia. (2006). Rules for The Classification and Construction of Seagoing Steel Ships, Volume II, Rules for Hull. Jakarta: *Biro Klasifikasi Indonesia.*
- [5] Zani, M. R., Hossain, M. T., Rahman, M., Rahaman, M. M., & Zakaria, N. M. (2022). Computational Fluid Dynamics Analysis of Engine Room Ventilation of A Bulk Carrier Plying in the Inland Waterways of Bangladesh. *In Proceedings of the 13th International Conference on Marine Technology (MARTEC 2022).*
- [6] Hendri, N. S., Adi, A., Suharyo, O. S., & Susanto, A. D. (2018). The Air Flow Analysis in Engine Rooms at Frigate Class Ship with CFD Approach (Computational Fluids Dynamics). *Int. J. Recent Eng. Sci, 5, 11–18.*
- [7] Bouchama, A., & Knochel, J. P. (2002). Heat stroke. *New England journal of medicine, 346(25), 1978-1988.*
- [8] Campa, R. D. L., Bouza, M. À., & Louro, J. (2020). Heat Stress on Board: Risk and Prevention. In *Maritime Transport VIII: proceedings of the 8th International Conference on Maritime Transport: Technology, Innovation and Research: Maritime Transport'20* (pp. 436-451). Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Ciència i Enginyeria Nàutiques.
- [9] Yeo, T. (2004). Heat Stroke: A Comprehensive Review. *AACN Clinical Issues, 15, 280–293.*
- [10] Cheng, T., Wei, C. G., Li, Y. Q., Wei, Y., & Ma, Q. J. (2013). Analysis of the Positive, Negative Press' Ventilating System in Offshore Platform Room. *Applied Mechanics and Materials, 419, 905–909.*
- [11] Kartika, S. D. (2016). Keamanan Maritim dari Aspek Regulasi dan Penegakan Hukum (Maritime Security From the Aspects of Regulation and Law Enforcement). *Negara Hukum: Membangun Hukum Untuk Keadilan Dan Kesejahteraan.*
- [12] Pérez, J. A., Orosa, J. A., & Grueiro, T. (2016). A Three-Dimensional CFD Simulation Study to Reduce Heat Stress in Ships. *Applied Thermal Engineering, 94, 413-421.*

- [13] Widiarta, I. P., Suarda, M., Sucipta, M., & Sukadana, I. G. K. (2022). Simulasi CFD Pertukaran Udara di Ruang Tindakan Klinik Kesehatan. *Jurnal METTEK*, 8(2), 83-92.

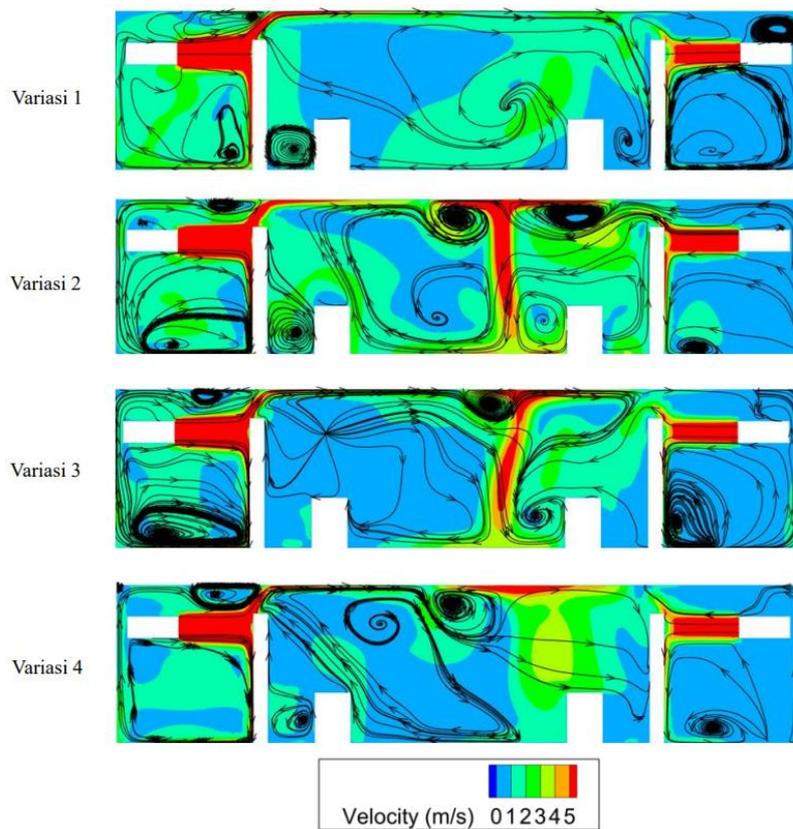
## LAMPIRAN



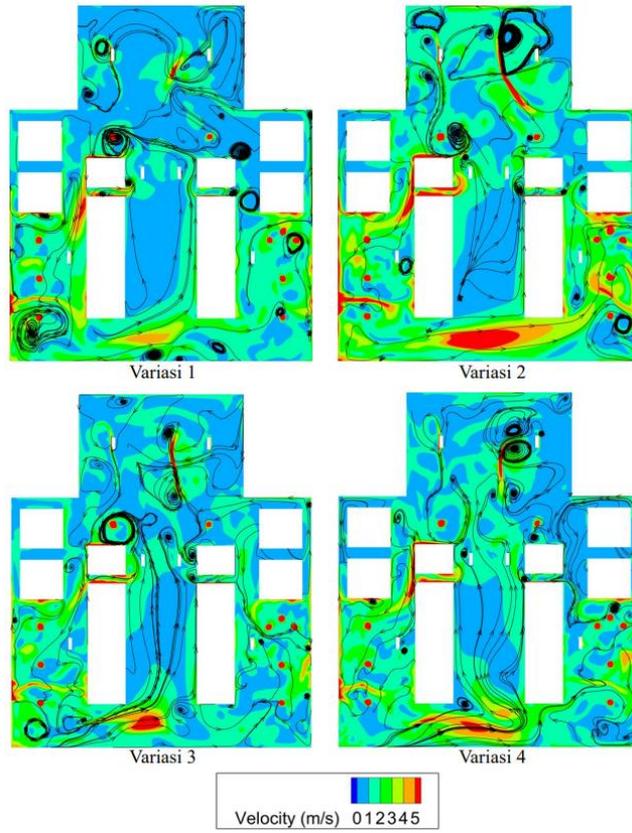
Gambar Kontur Kecepatan Pada Bidang  $X/L=0,29$



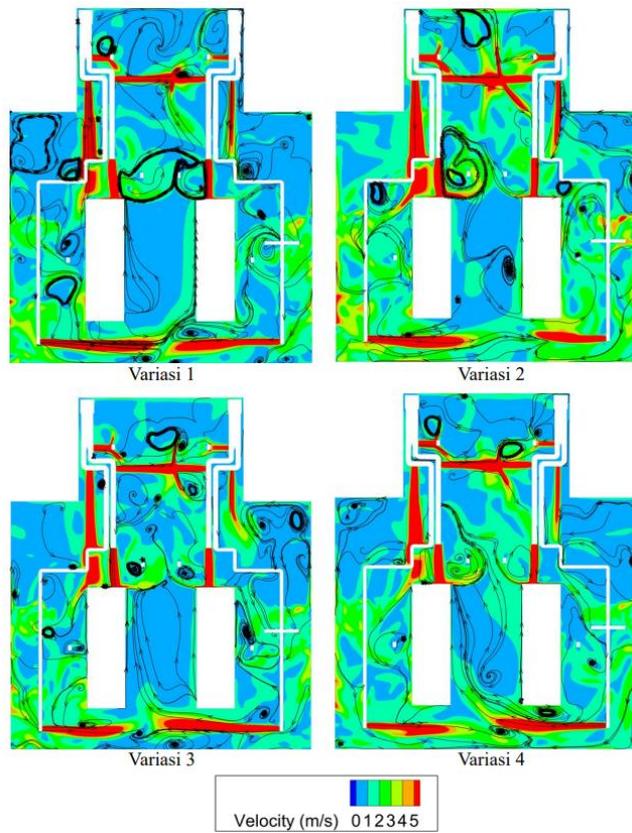
Gambar Kontur Kecepatan Pada Bidang X/L=0,53



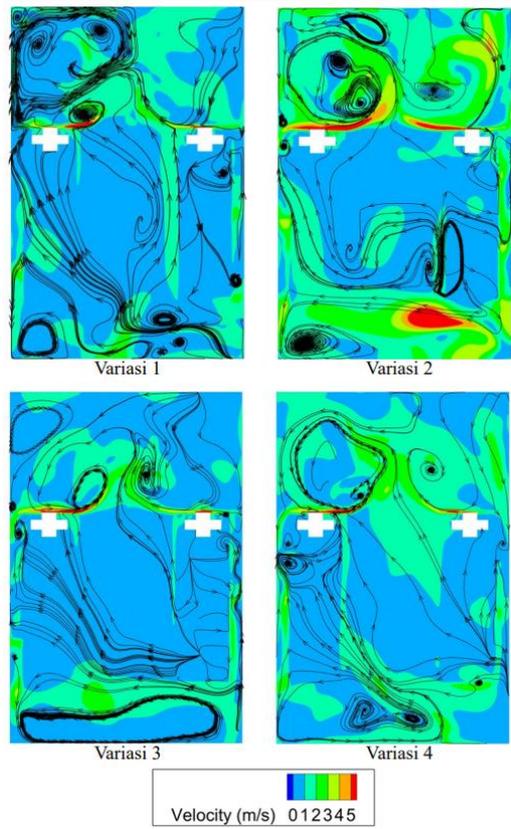
Gambar Kontur Kecepatan Pada Bidang X/L=0,86



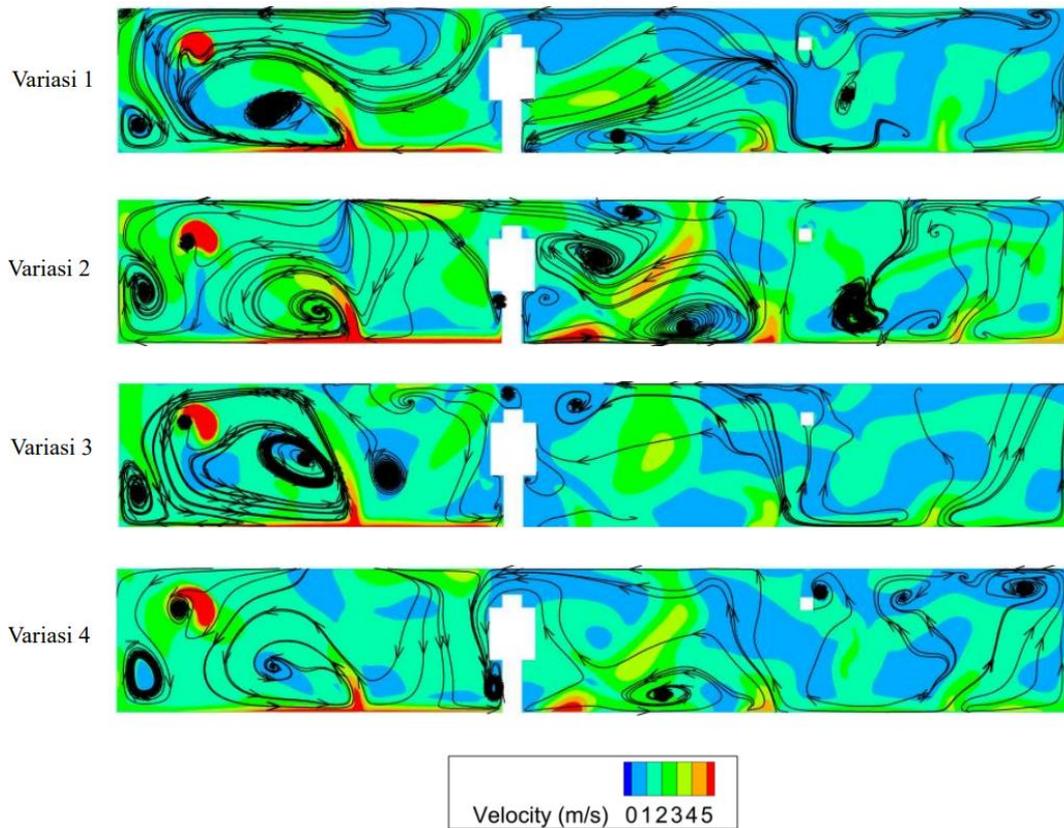
Gambar Kontur Kecepatan Pada Bidang Y/H=0,22



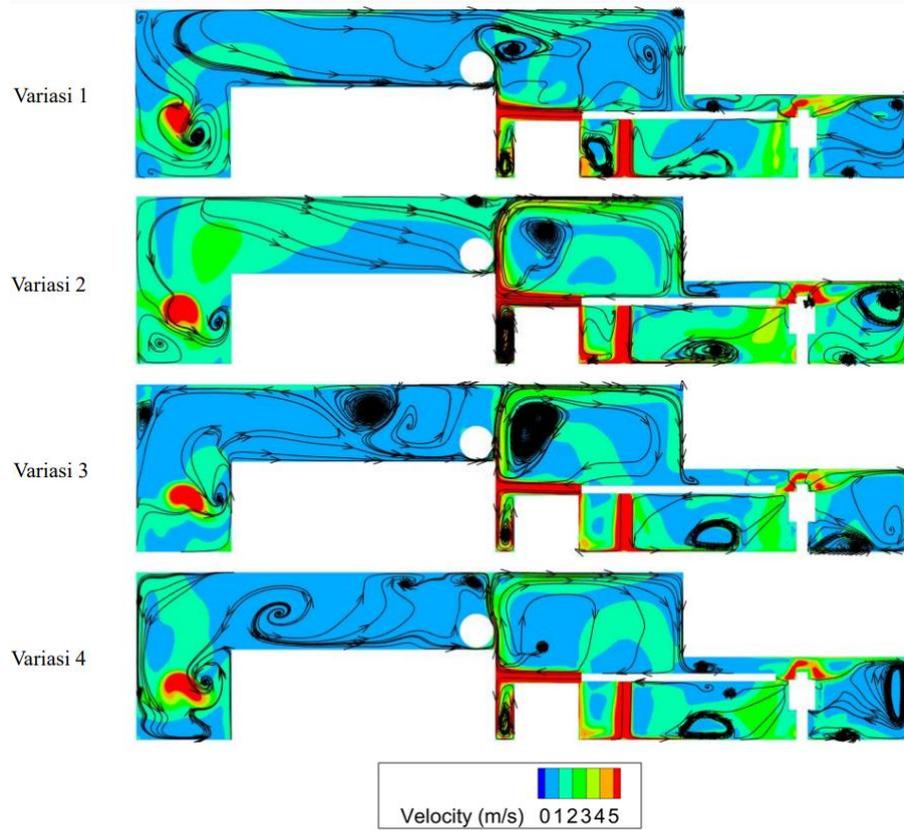
Gambar Kontur Kecepatan Pada Bidang Y/H=0,38



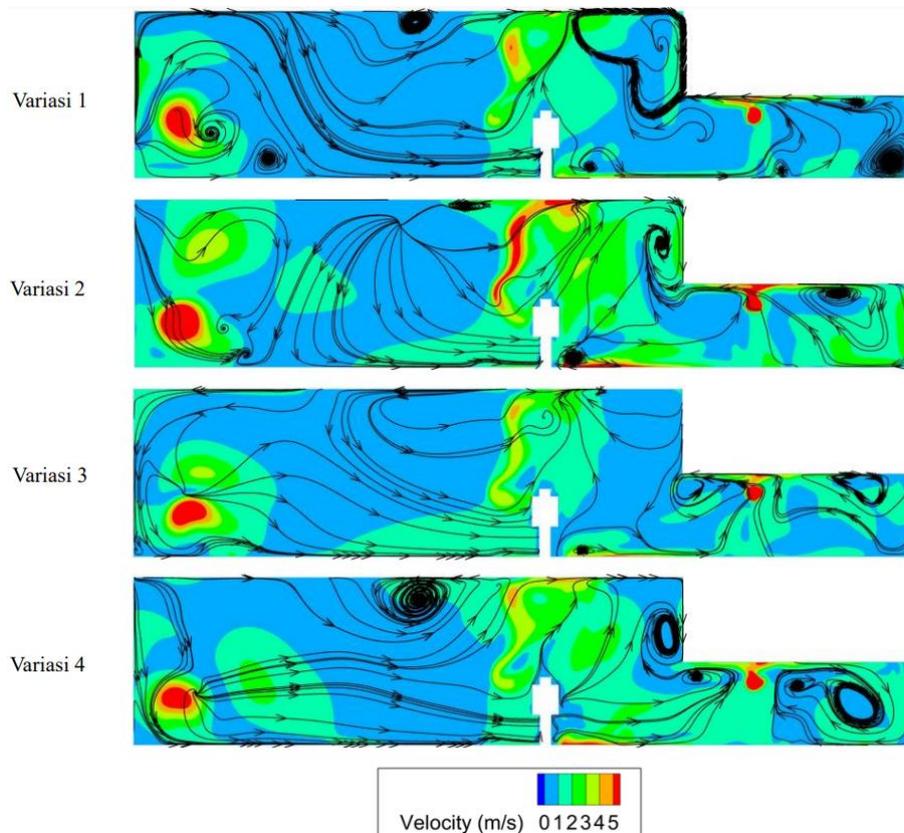
Gambar Kontur Kecepatan Pada Bidang Y/H=0,56



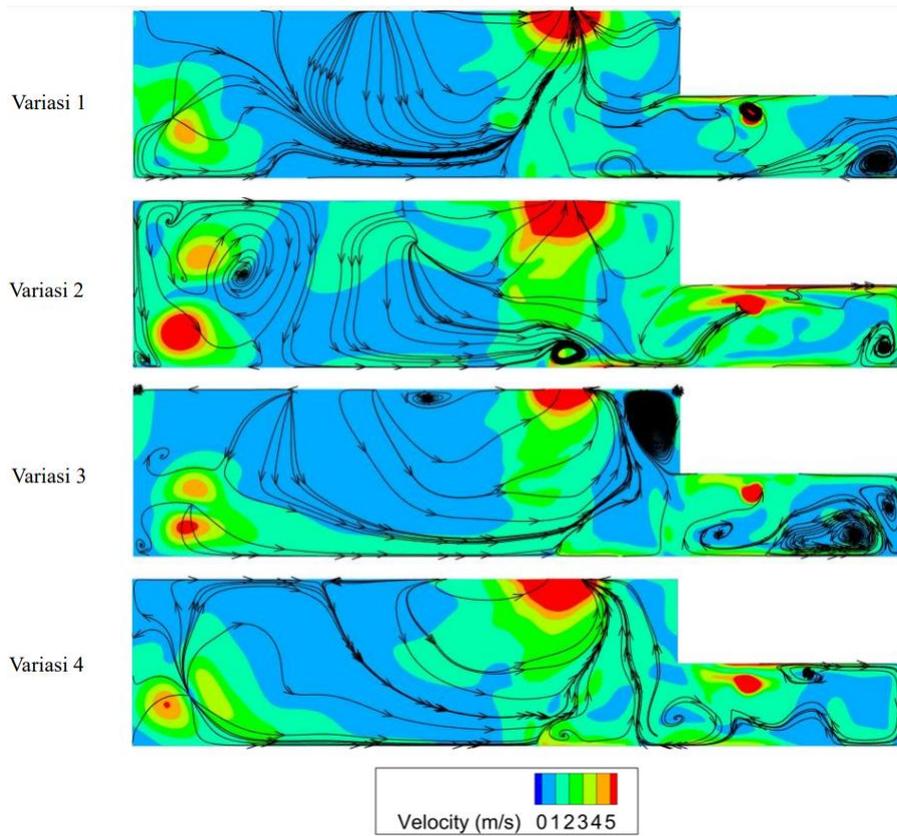
Gambar Kontur Kecepatan Pada Bidang Z/W=0,20



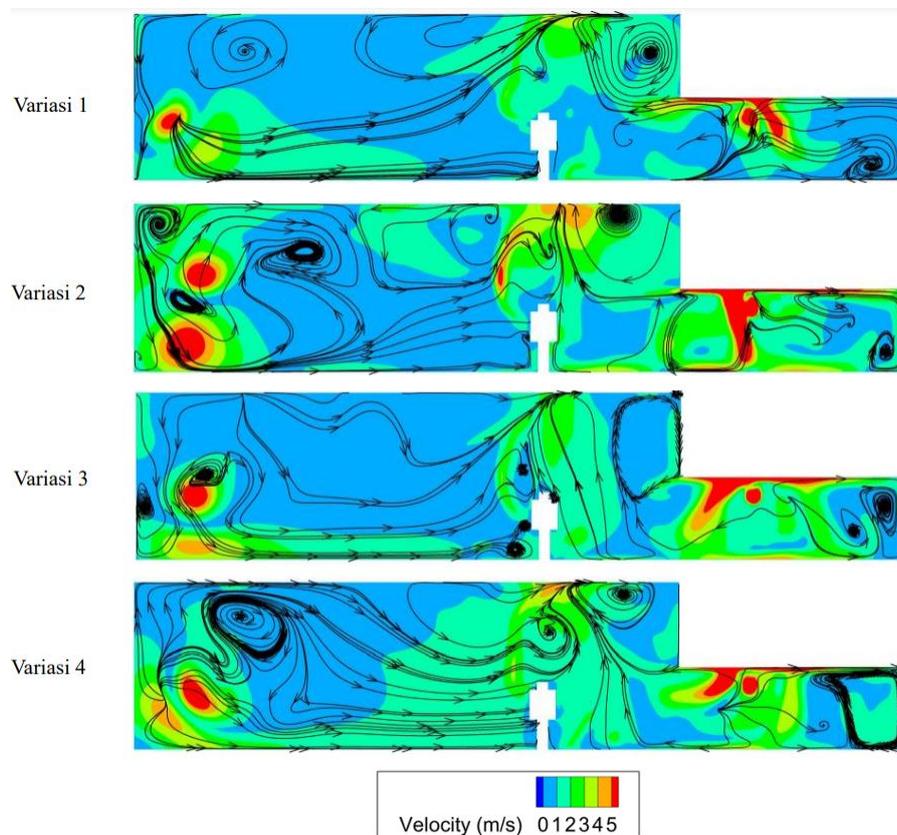
Gambar Kontur Kecepatan Pada Bidang  $Z/W=0,34$



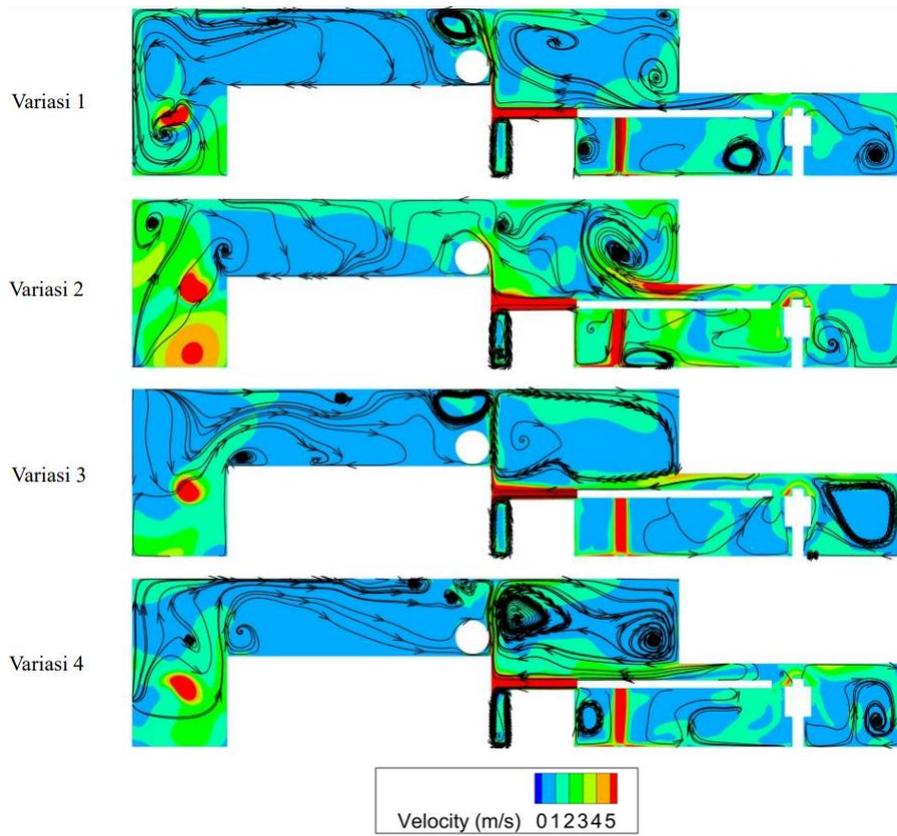
Gambar Kontur Kecepatan Pada Bidang  $Z/W=0,44$



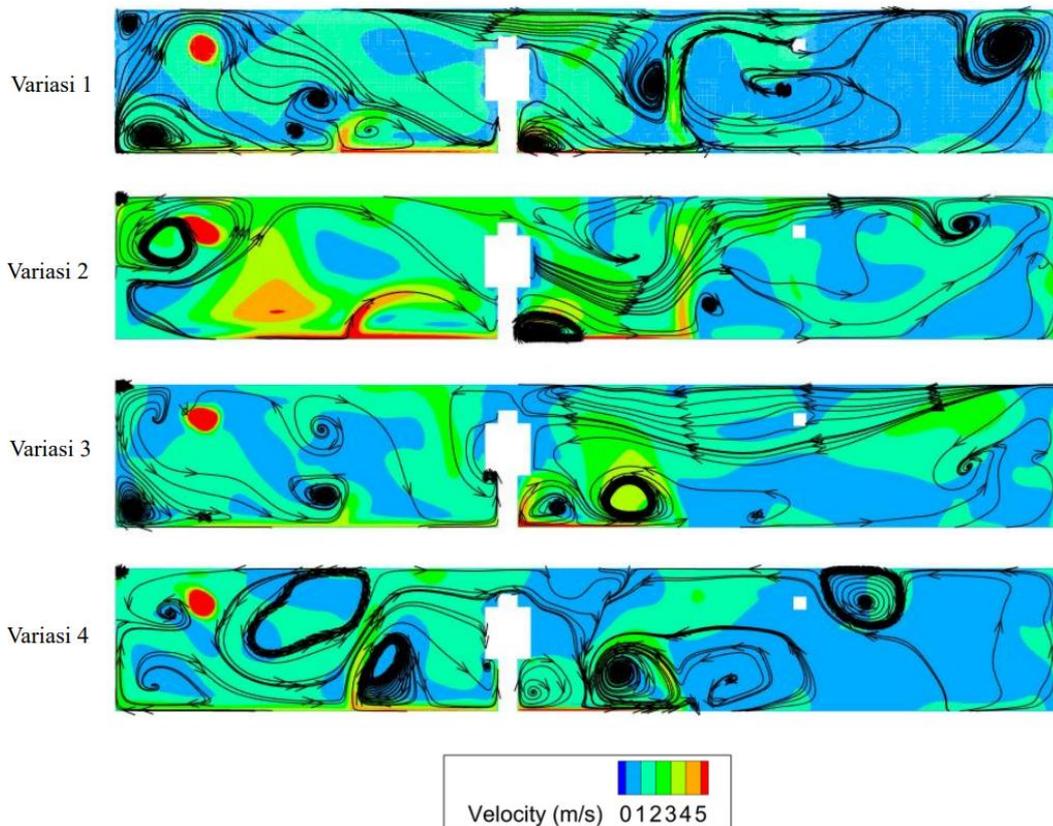
Gambar Kontur Kecepatan Pada Bidang  $Z/W=0,50$



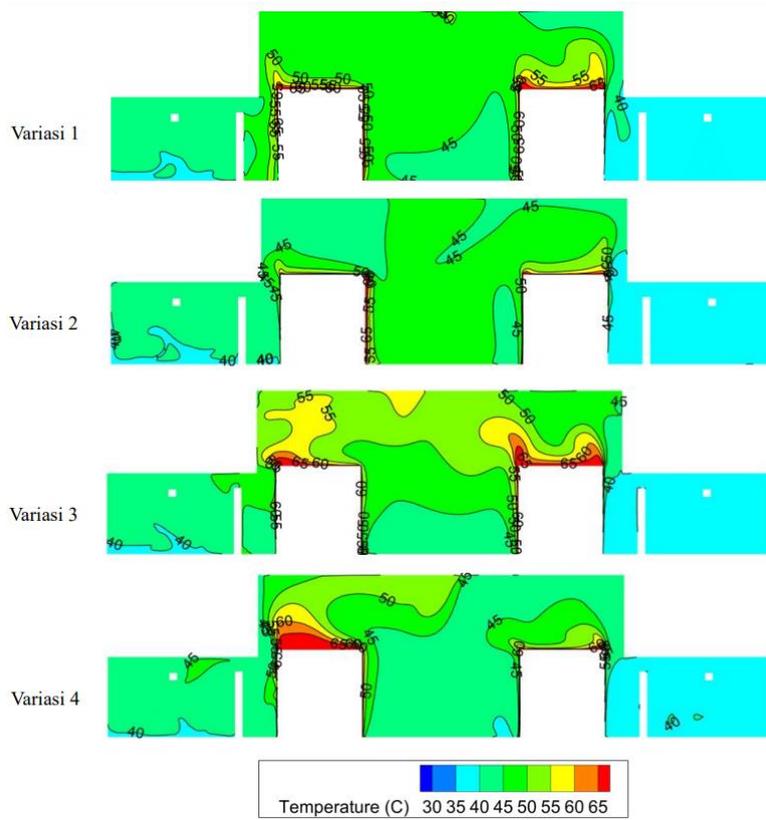
Gambar Kontur Kecepatan Pada Bidang  $Z/W=0,56$



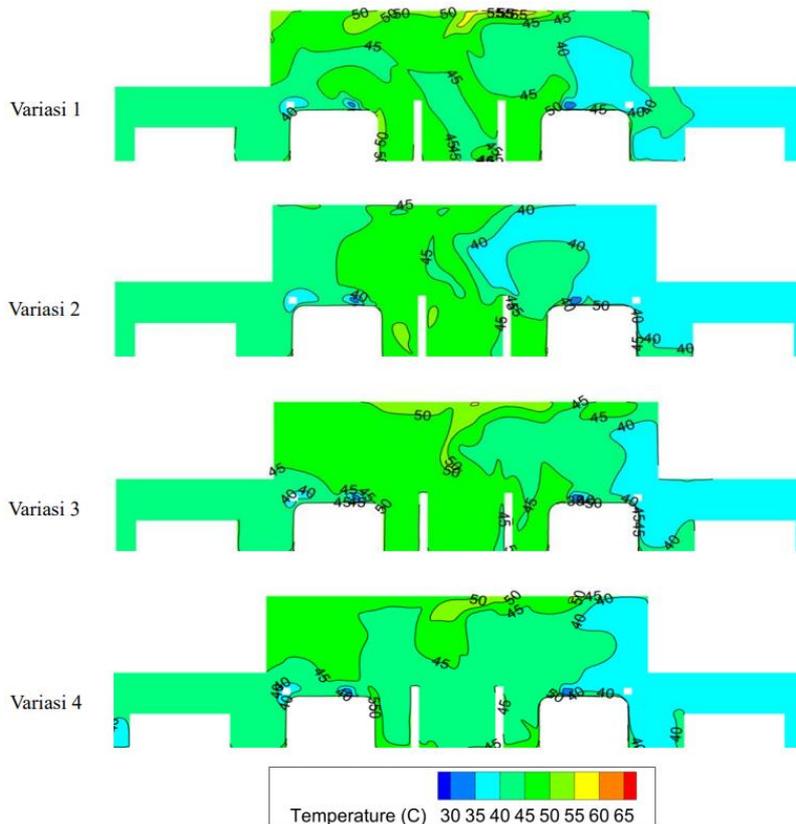
Gambar Kontur Kecepatan Pada Bidang  $Z/W=0,66$



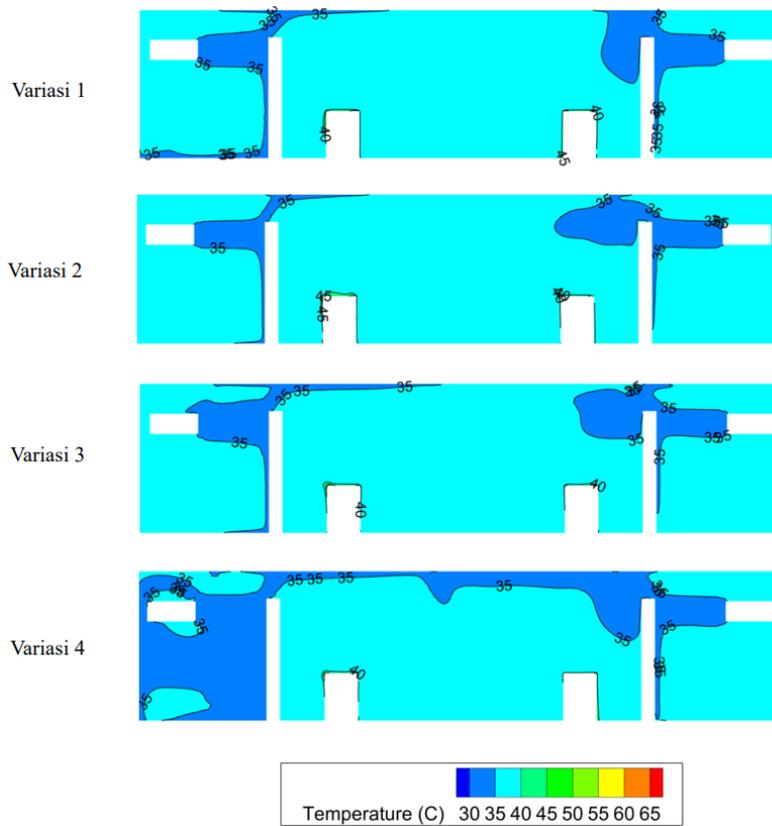
Gambar Kontur Kecepatan Pada Bidang  $Z/W=0,80$



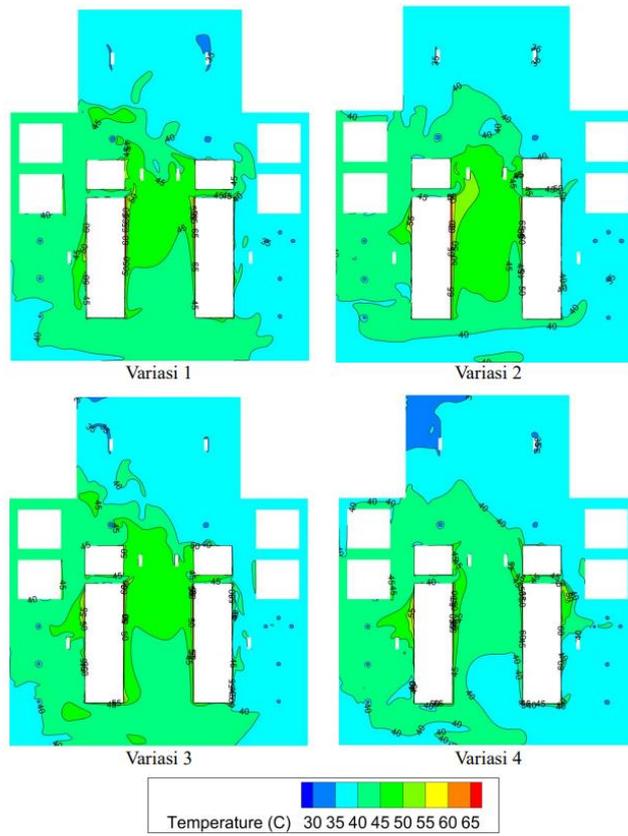
Gambar Kontur Temperatur Pada Bidang X/L=0.29



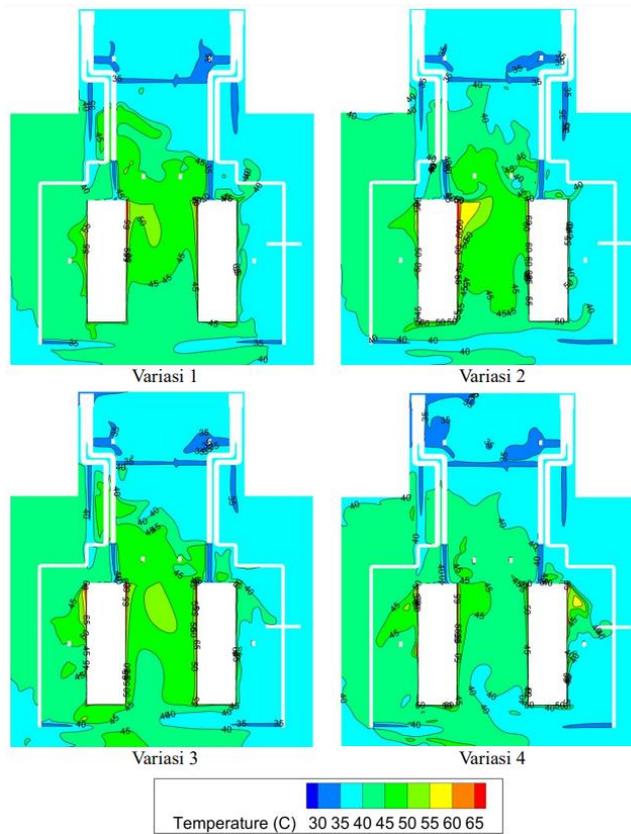
Gambar Kontur Temperatur Pada Bidang X/L=0.53



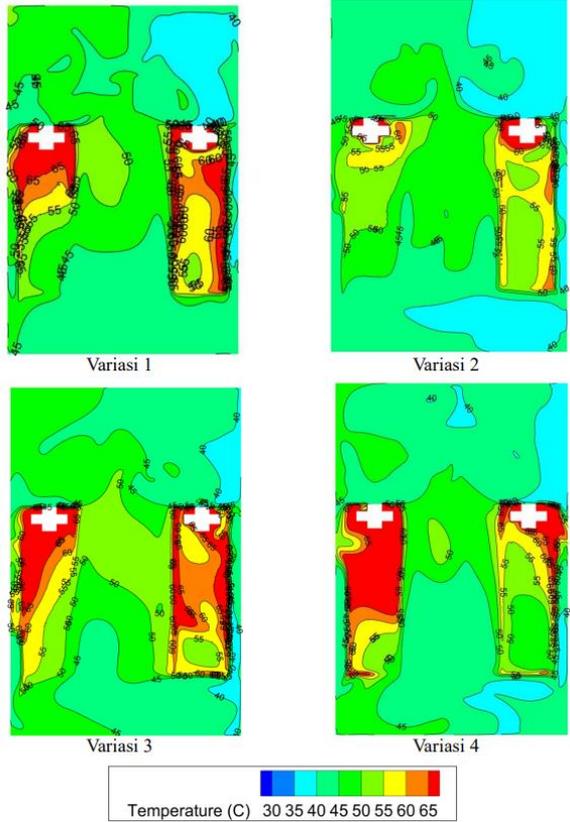
Gambar Kontur Temperatur Pada Bidang X/L=0.86



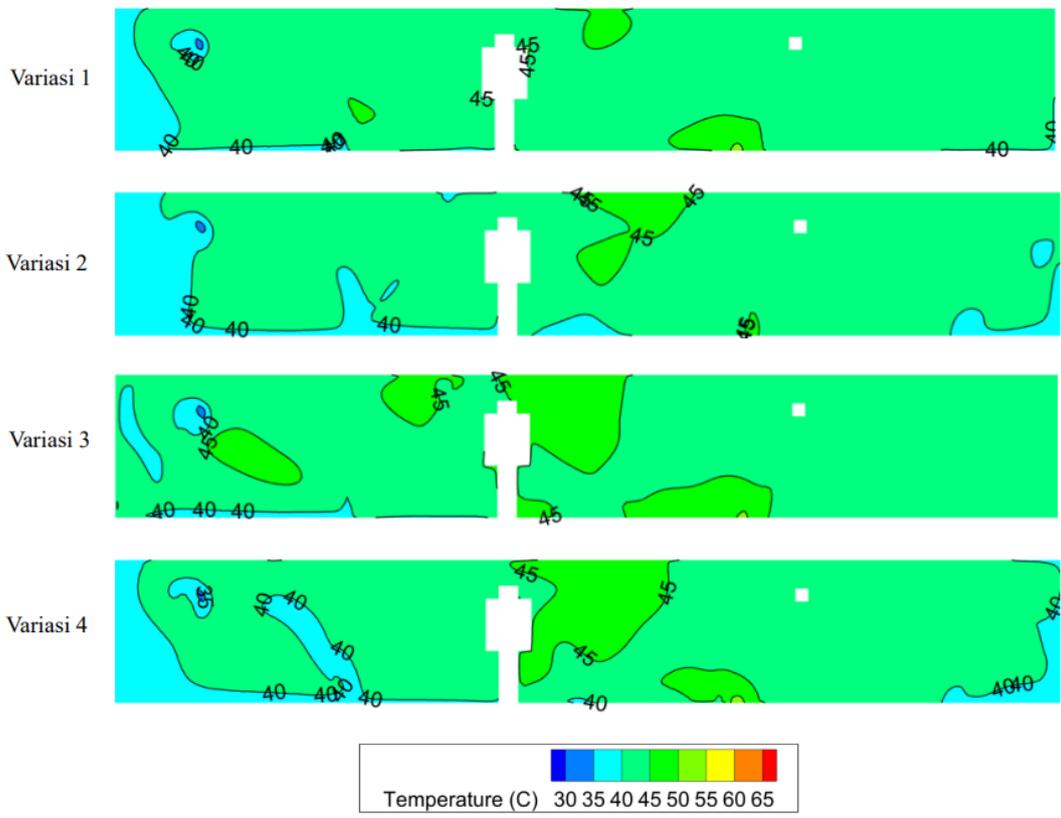
Gambar Kontur Temperatur Pada Bidang Y/H=0.22



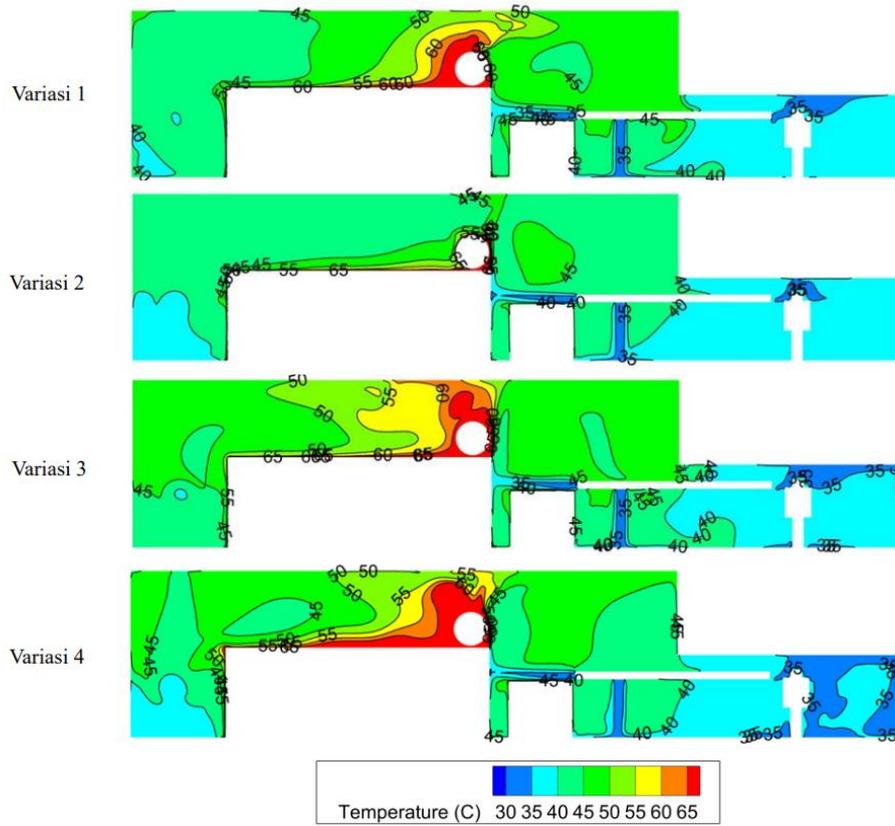
Gambar Kontur Temperatur Pada Bidang Y/H=0.38



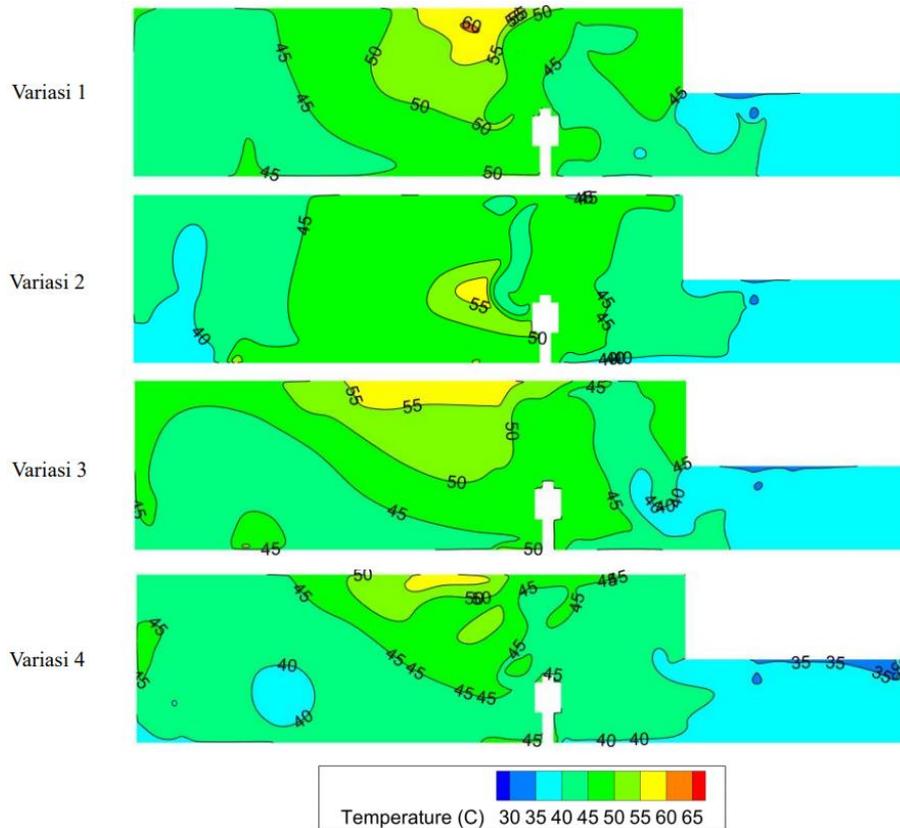
Gambar Kontur Temperatur Pada Bidang Y/H=0,56



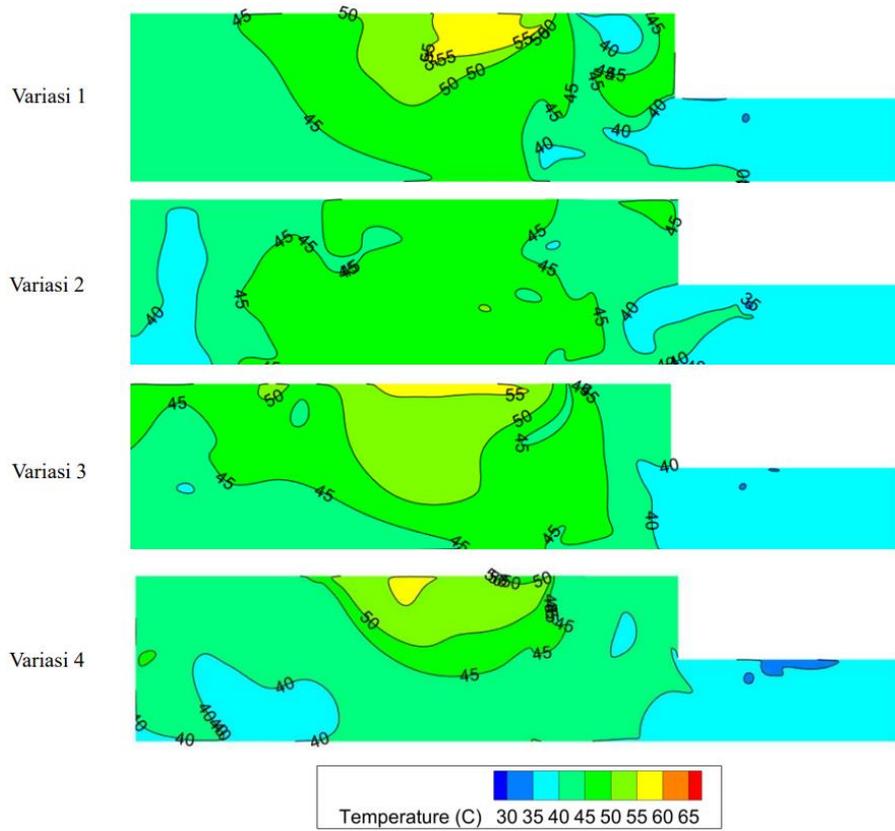
Gambar Kontur Temperatur Pada Bidang Z/W=0,20



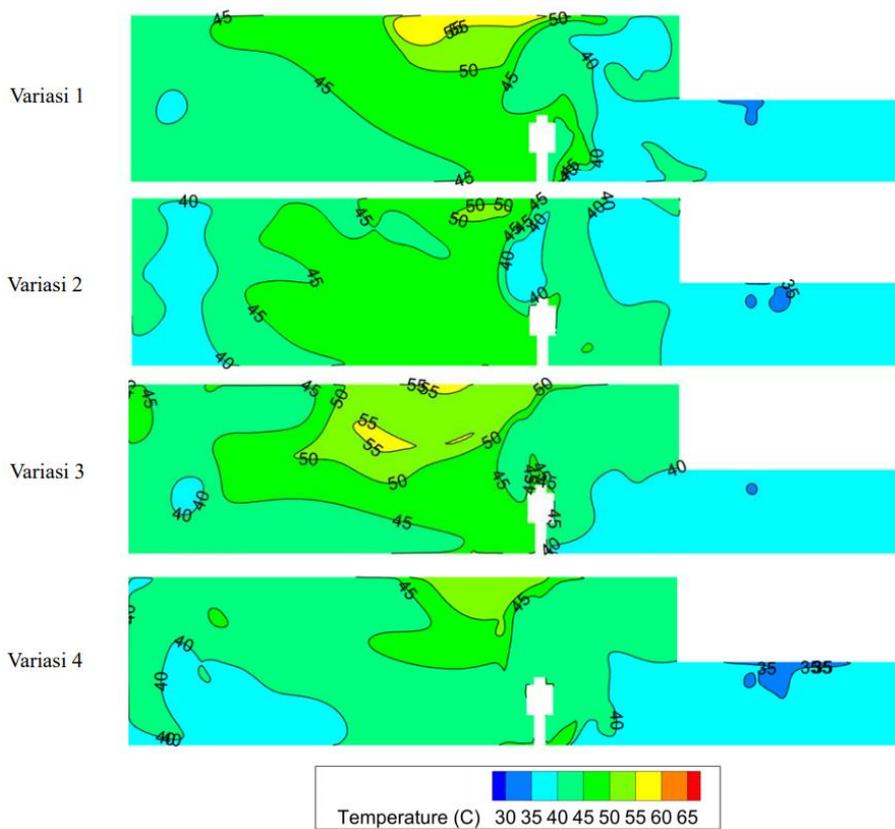
Gambar Kontur Temperatur Pada Bidang  $Z/W=0,34$



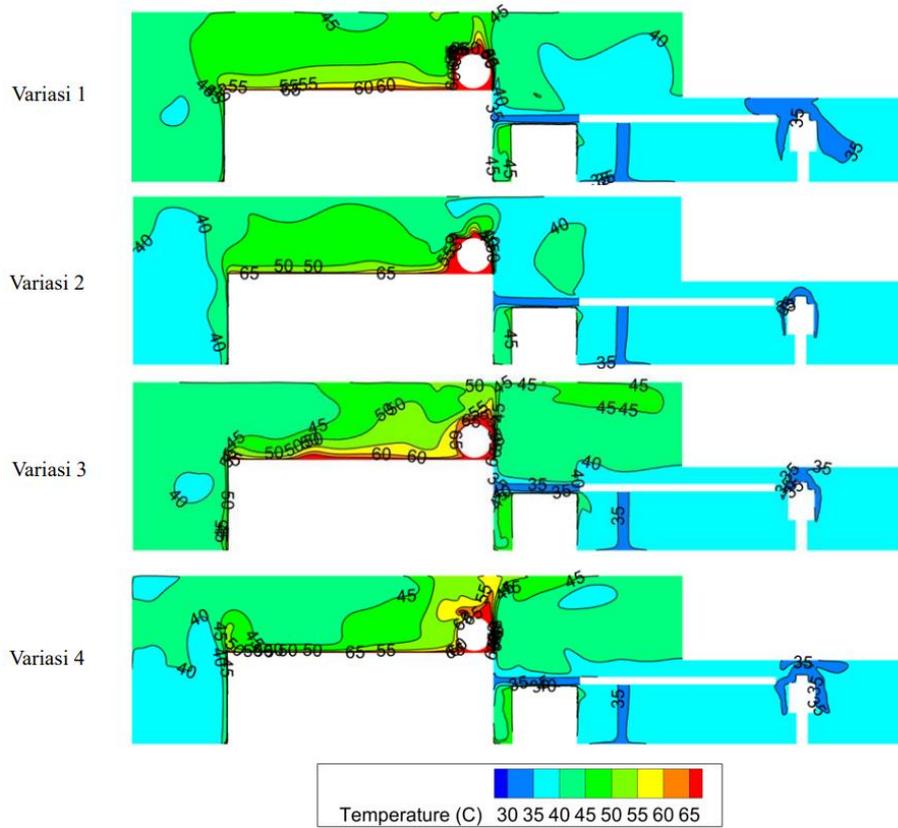
Gambar Kontur Temperatur Pada Bidang  $Z/W=0,44$



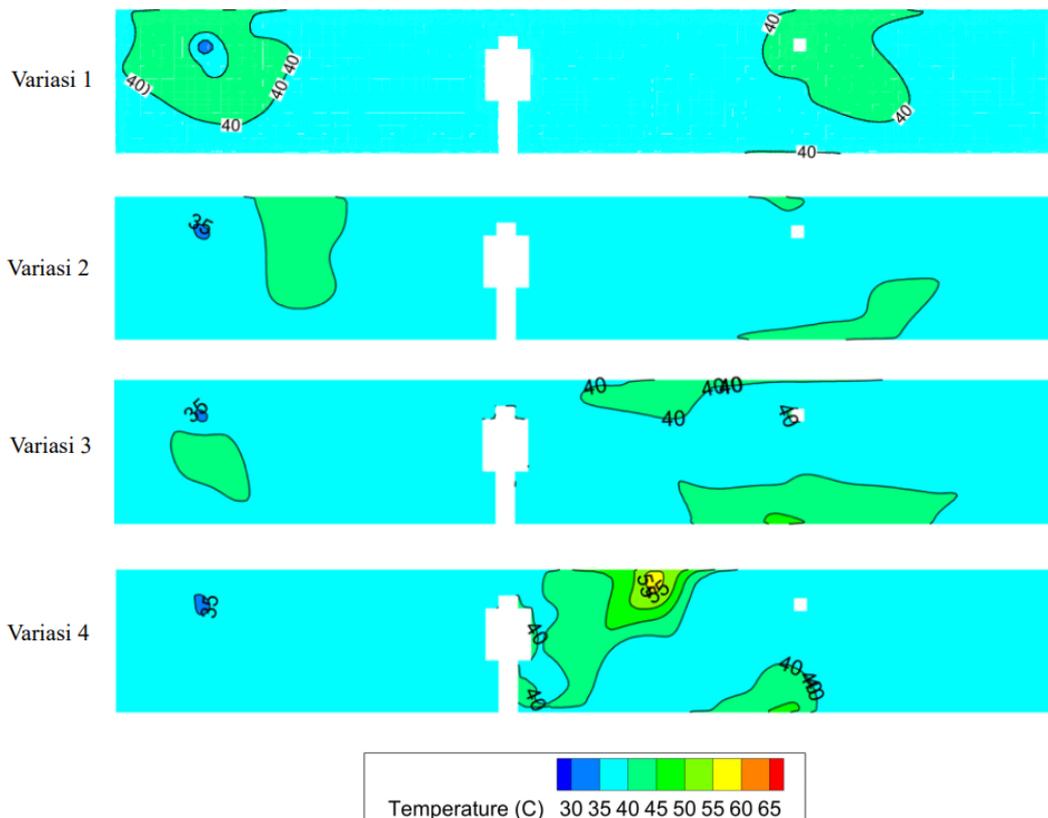
Gambar Kontur Temperatur Pada Bidang Z/W=0,50



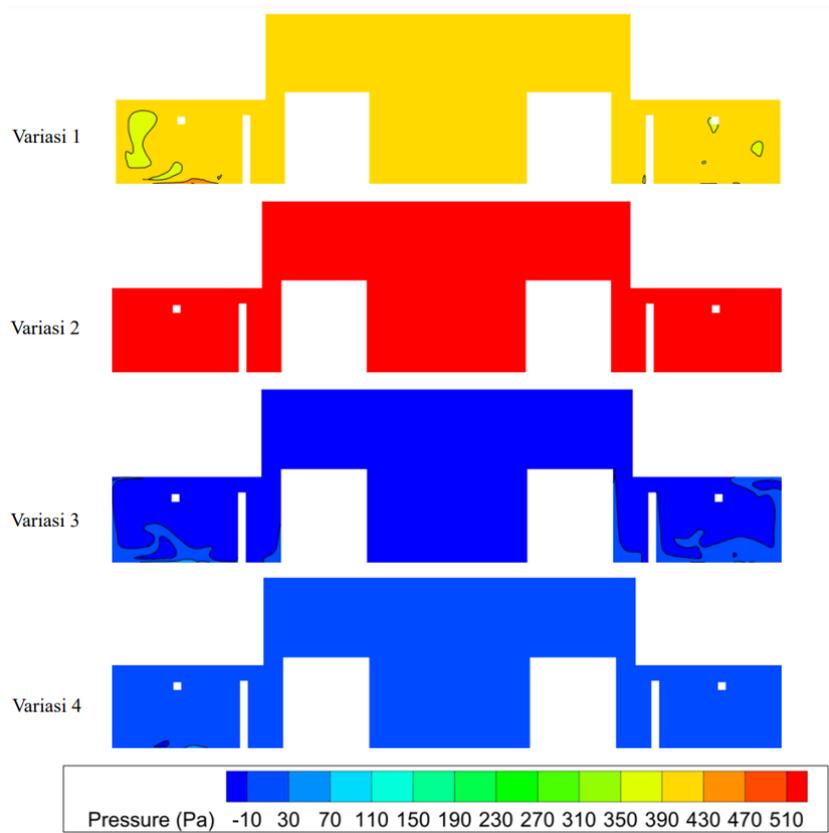
Gambar Kontur Temperatur Pada Bidang Z/W=0,56



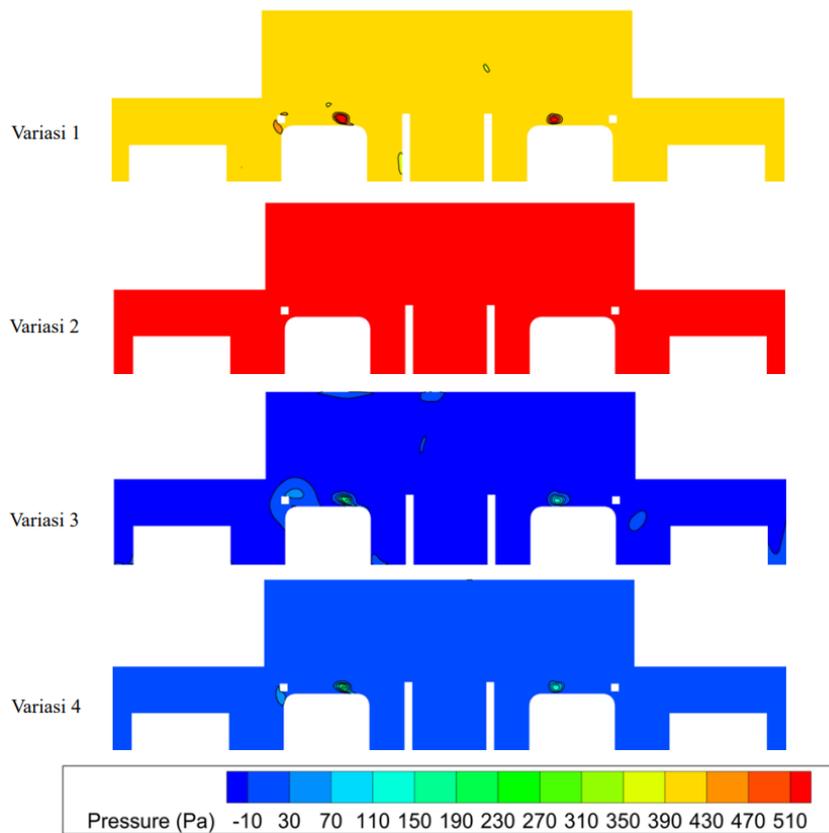
Gambar Kontur Temperatur Pada Bidang  $Z/W=0,66$



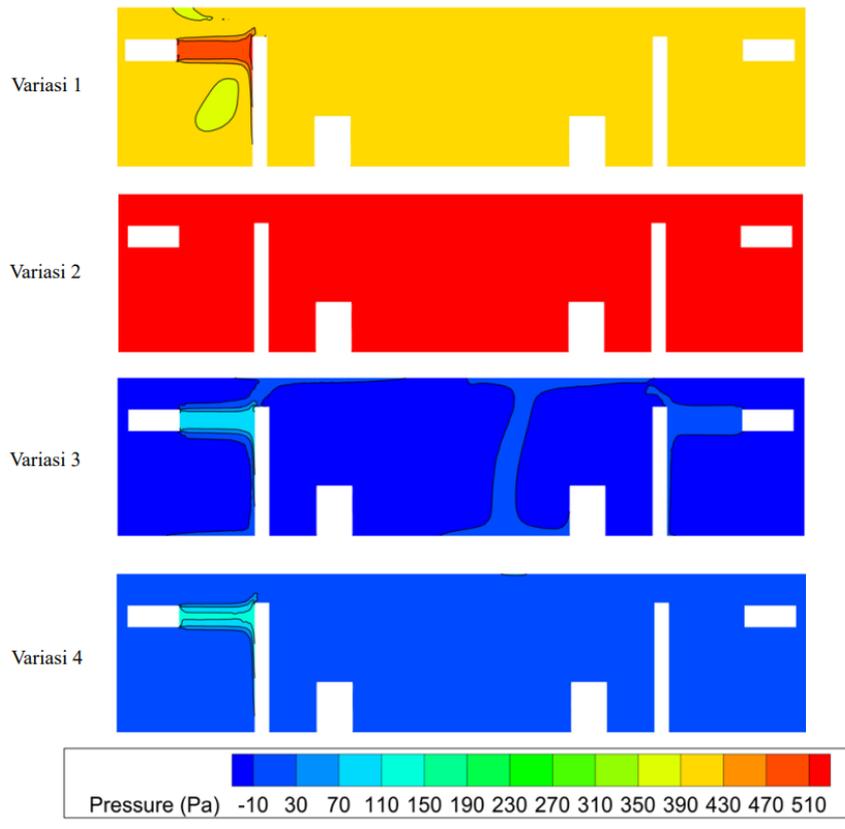
Gambar Kontur Temperatur Pada Bidang  $Z/W=0,80$



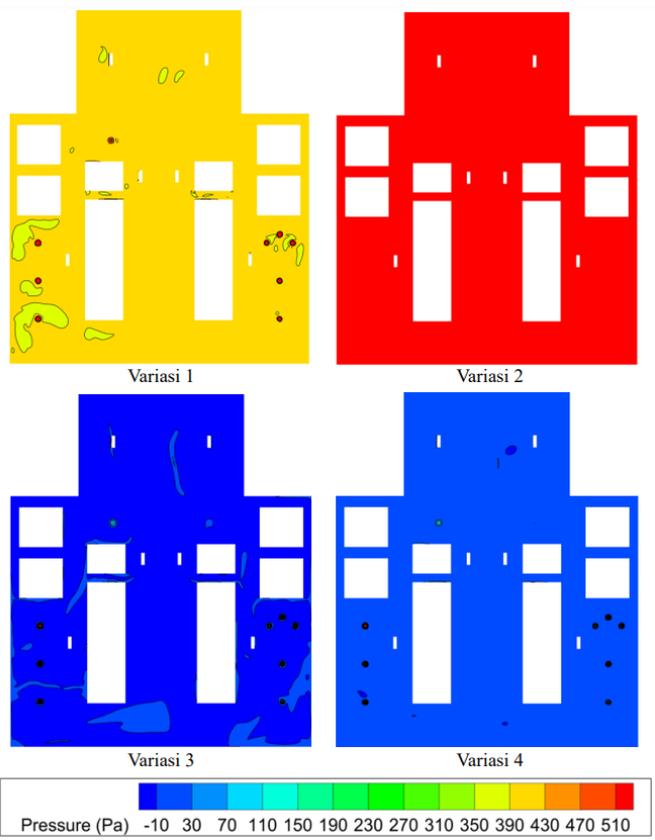
Gambar Kontur Tekanan Pada Bidang X/L=0,29



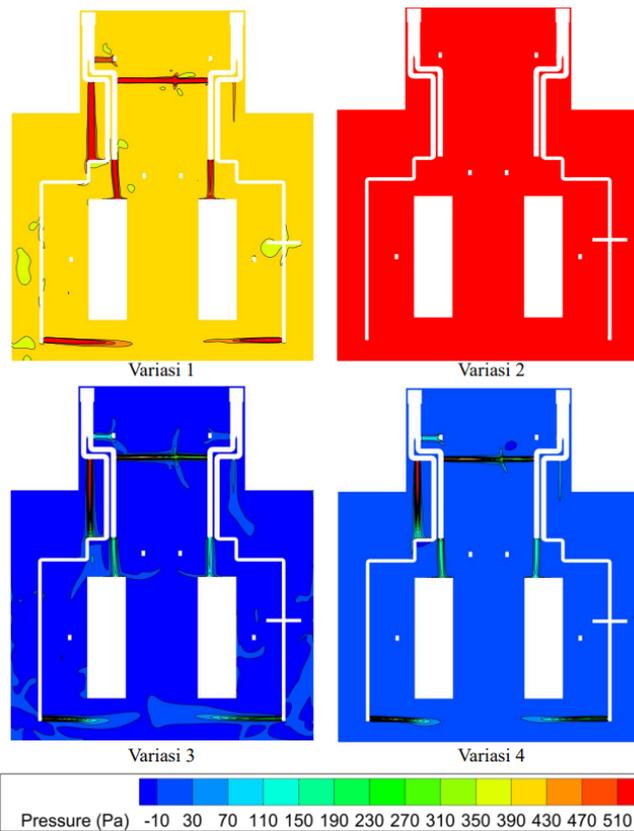
Gambar Kontur Tekanan Pada Bidang X/L=0,53



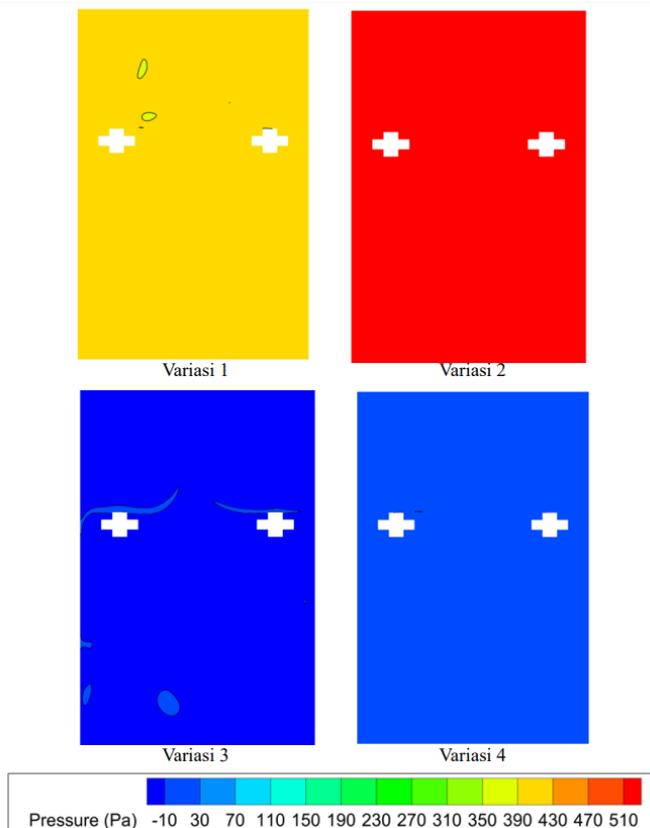
Gambar Kontur Tekanan Pada Bidang X/L=0,86



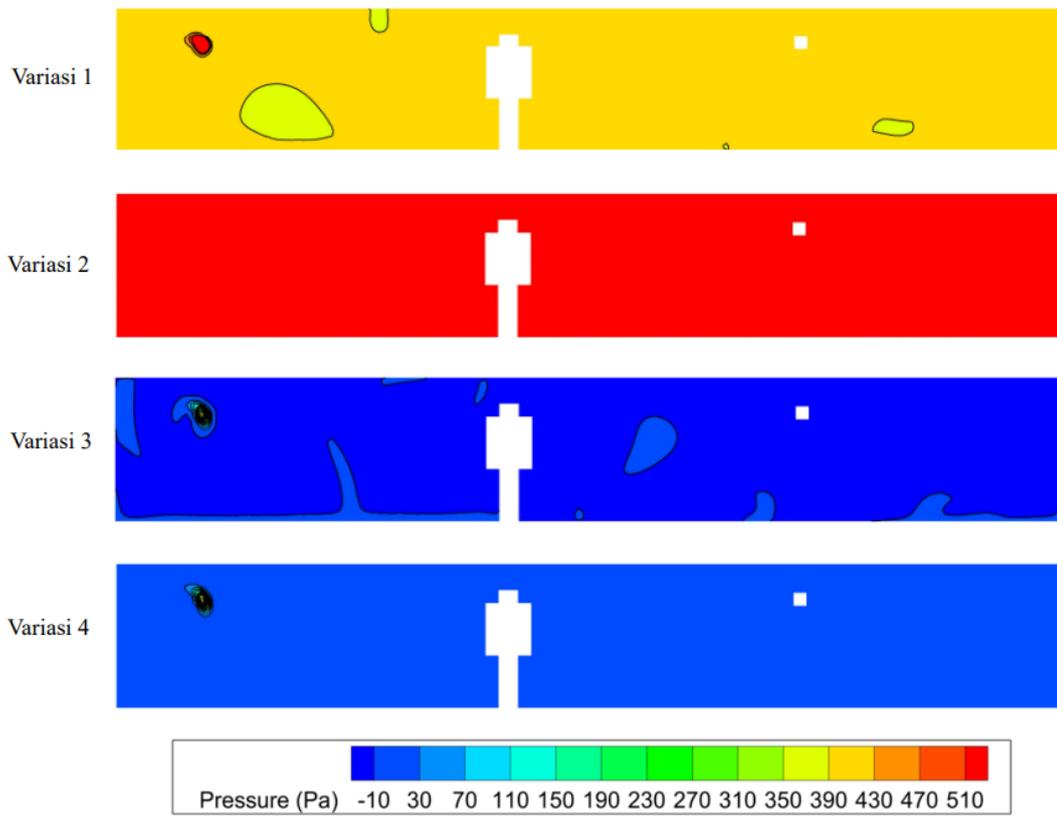
Gambar Kontur Tekanan Pada Bidang Y/H=0,22



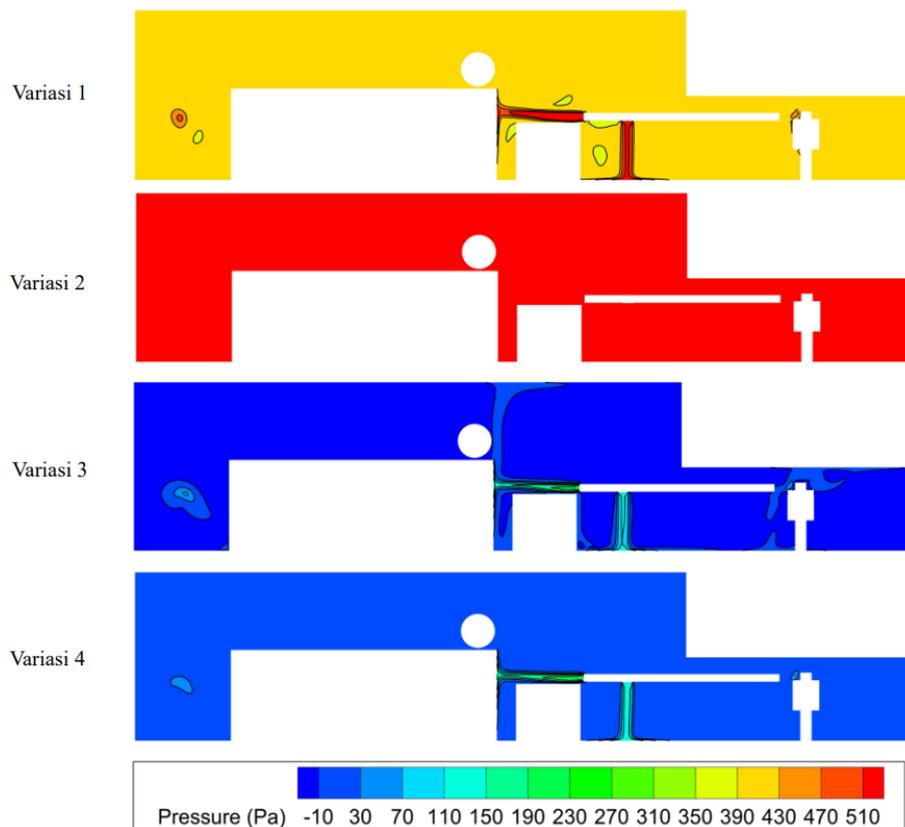
Gambar Kontur Tekanan Pada Bidang Y/H=0,38



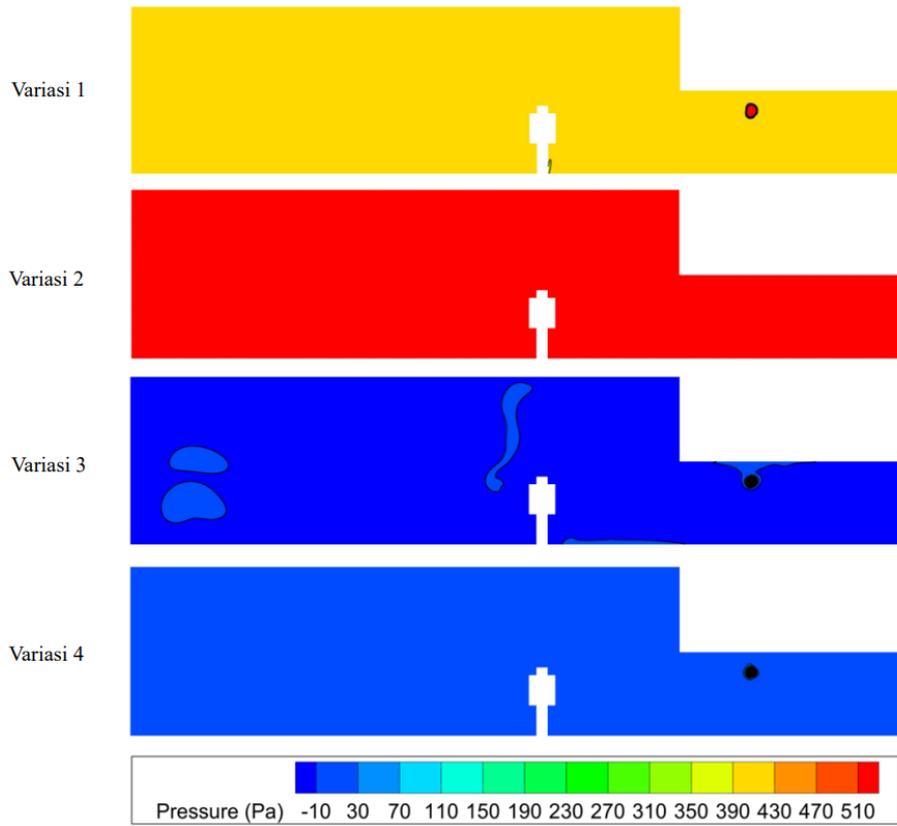
Gambar Kontur Tekanan Pada Bidang Y/H=0,56



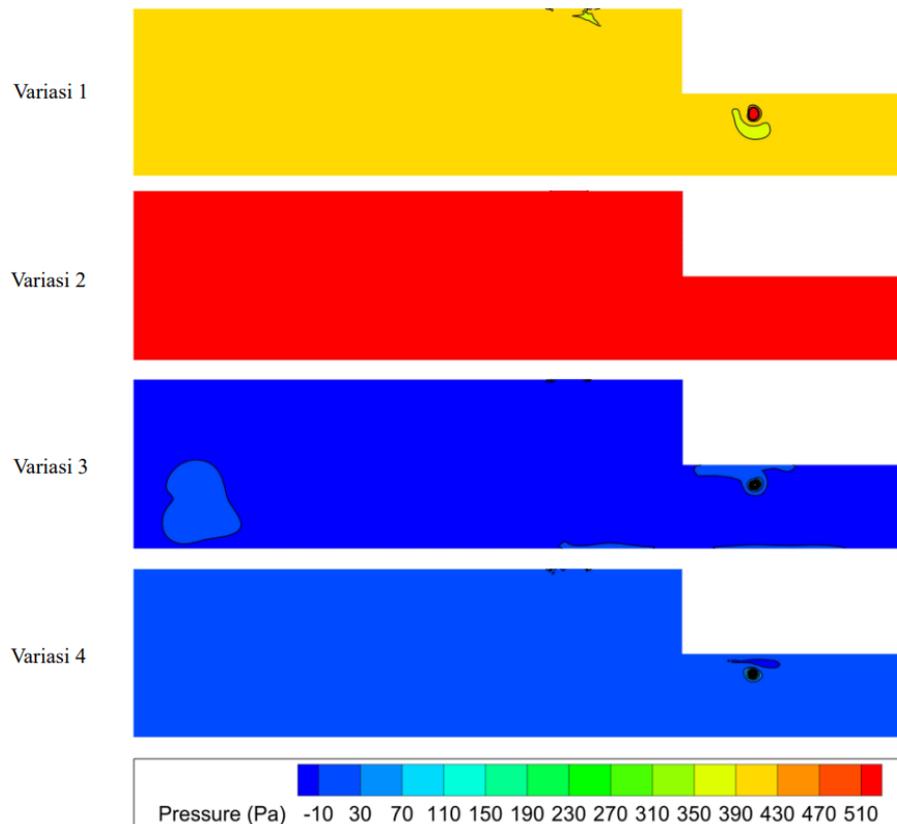
Gambar Kontur Tekanan Pada Bidang  $Z/W=0,20$



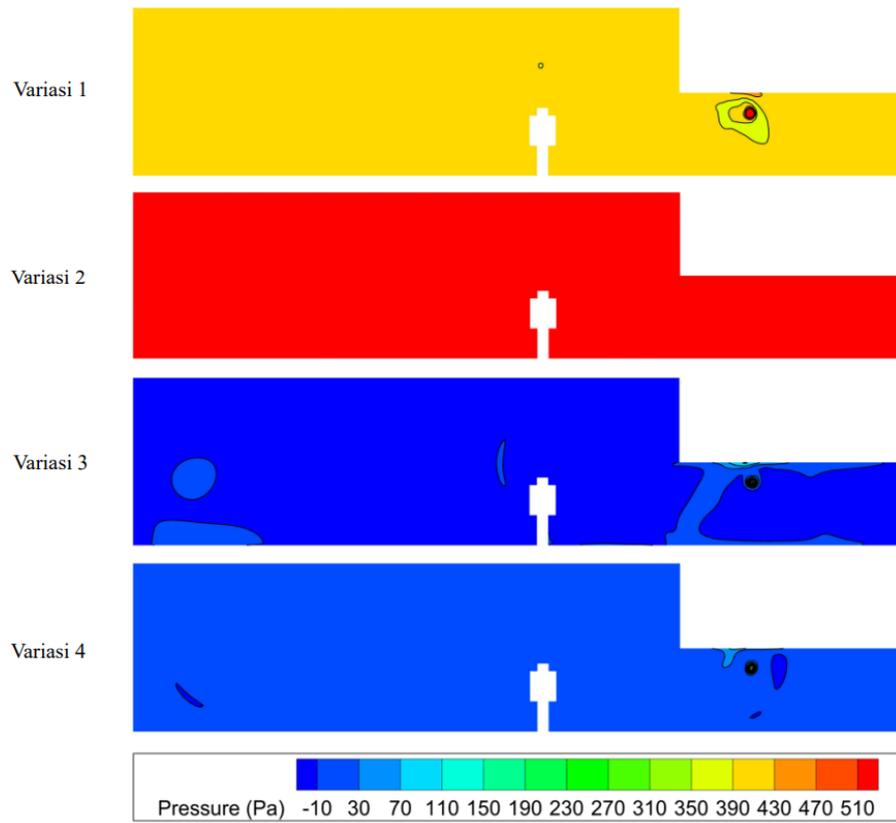
Gambar Kontur Tekanan Pada Bidang  $Z/W=0,34$



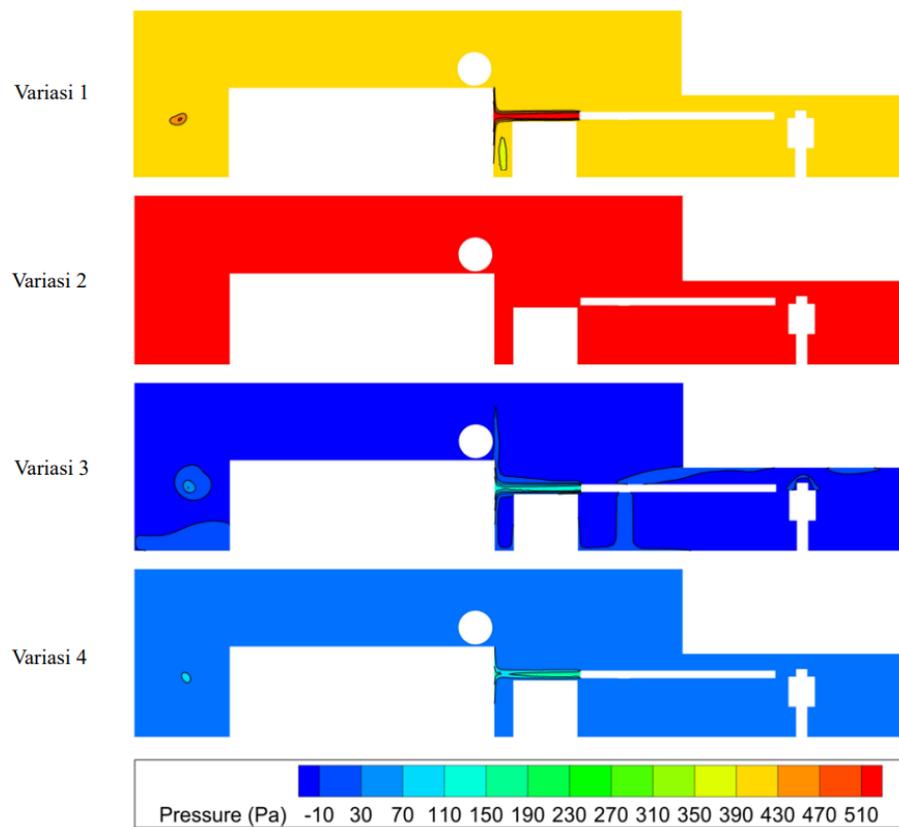
Gambar Kontur Tekanan Pada Bidang  $Z/W=0,44$



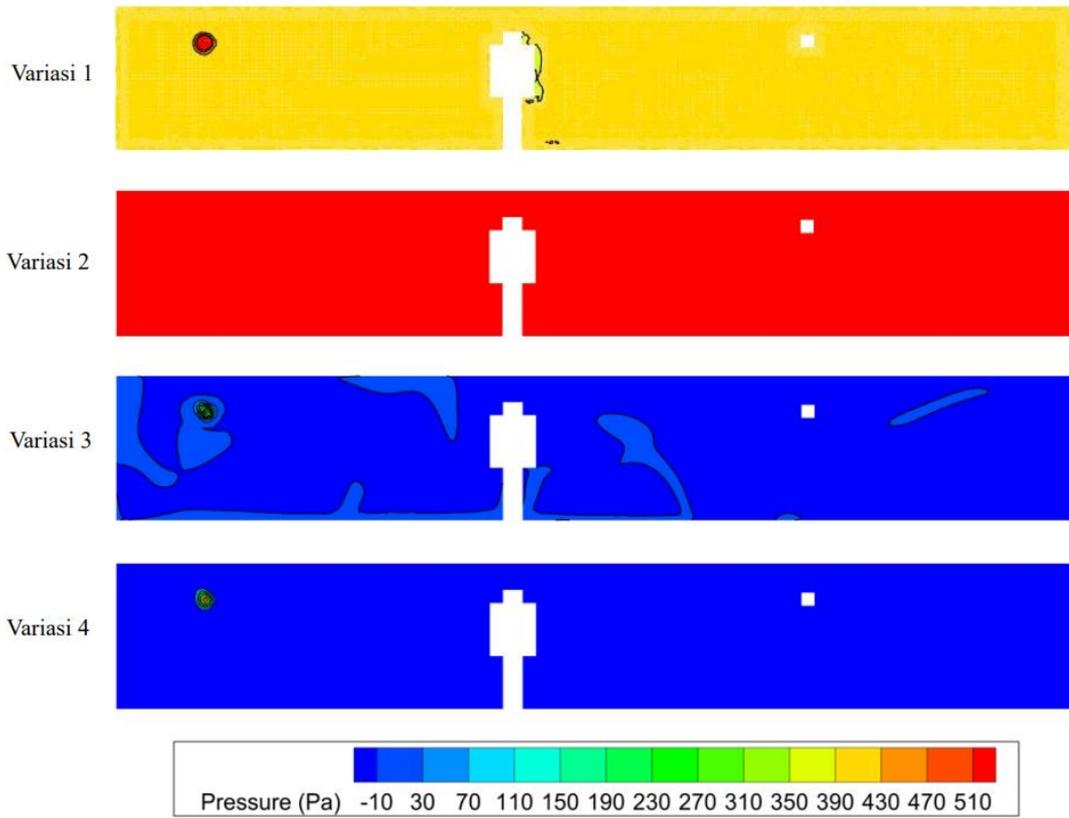
Gambar Kontur Tekanan Pada Bidang  $Z/W=0,50$



Gambar Kontur Tekanan Pada Bidang  $Z/W=0,56$



Gambar Kontur Tekanan Pada Bidang  $Z/W=0,66$



Gambar Kontur Tekanan Pada Bidang Z/W=0,80

## **BIODATA PENULIS**



Penulis dilahirkan di Gresik, 31 Desember 2000, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Muslimat NU 9 Sekar Kedaton Gresik, SDN 14 Gresik, SMPN 3 Gresik dan SMAN 1 Gresik. Setelah lulus dari SMAN tahun 2019, Penulis mengikuti SBMPTN dan diterima di Departemen Teknik Mesin FTIRS - ITS pada tahun 2020 dan terdaftar dengan NRP 5007201210.

Di Departemen Teknik Mesin Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan Seminar yang diselenggarakan oleh Departemen, Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HMM) dan aktif pada beberapa kegiatan kepanitiaan seperti Mechanical Competition.

