



SKRIPSI – ME141501

**SIMULASI LINEAR KOMPRESOR DENGAN METODE CFD
(*COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC*) UNTUK PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA AIR LAUT BERDASARKAN DENGAN PRINSIP
SISTEM PNEUMATIS**

Muhammad Iqbal

NRP 04211546000021

Dosen Pembimbing

Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc.

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**

2018



SKRIPSI - ME141501

**SIMULASI LINEAR KOMPRESOR DENGAN METODE CFD
(*COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC*) UNTUK PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA AIR LAUT BERDASARKAN DENGAN PRINSIP
SISTEM PNEUMATIS**

**Muhammad Iqbal
NRP. 042115460021**

**Dosen Pembimbing
Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc.**

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



THESIS - 141501

**SIMULATION OF LINEAR COMPRESSOR WITH CFD
(COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC) FOR WATER POWER
PLANT BASED ON PNEUMATIC SYSTEM**

**Muhammad Iqbal
NRP. 0421154600021**

**Supervisor
Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc.**

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

SIMULASI LINEAR KOMPRESSOR DENGAN METODE CFD (COMPUTATIONAL FLUID DINAMIC) UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ARUS AIR LAUT BERDASARKAN SISTEM PNEUMATIS

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System* (MEAS)

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

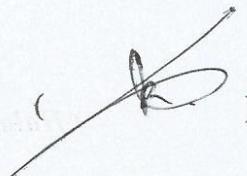
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Muhammad Iqbal
NRP. 0421154600021

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Skripsi :

1. Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc.
NIP : 1956 0519 1986 10 1001



SURABAYA
Juli, 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**SIMULASI LINEAR KOMPRESOR DENGAN METODE CFD
(COMPUTATIONAL FLUID DINAMIC) UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA ARUS AIR LAUT BERDASARKAN SISTEM PNEUMATIS**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Muhammad Iqbal
NRP. 04211546000021

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. M. Badrus Zaman., ST., MT

NIP. 197708022008011007

Surabaya,
Juli 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

SIMULASI LINEAR KOMPRESOR DENGAN METODE CFD (COMPUTATIONAL FLUID DINAMIC) UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ARUS AIR LAUT BERDASARKAN SISTEM PNEUMATIS

Nama Mahasiswa : Muhammad Iqbal
NRP : 0421154600021
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS
Dosen Pembimbing : Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc.

Abstrak

Energi merupakan suatu unsur yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Sejak revolusi industri, bahan bakar fosil selalu menjadi sumber daya utama untuk energi. Di sisi lain, terdapat energi terbarukan yang tidak akan habis bila digunakan secara berkelanjutan jika dikelola dengan baik. Selain dapat dipulihkan kembali, energi ini juga ramah lingkungan, aman dan terjangkau oleh masyarakat. Maka dari itu sekarang banyak berlomba-lomba menciptakan bahan bakar yang terbarukan dan ramah lingkungan, salah satunya yang dikembangkan dan cocok digunakan di Indonesia adalah pembangkit listrik tenaga arus air laut dikarenakan sebagian besar Indonesia terdiri dari lautan.

Dalam penelitian ini dilakukan proses pemodelan dan simulasi sebuah kompresor linear berdasarkan sistem pneumatik yang ada pada pembangkit listrik tenaga arus air laut. Dalam penelitian ini dilakukan 3 model dengan 9 percobaan variasi pada kecepatan fluida yang dilalui silinder oscilating sebagai penggerak utama kompresor linear. Yaitu, pada variasi kecepatan 0,5 m/s ; 0,75 m/s; 1,0 m/s.

Pada model I besarnya udara bertekanan berkurang dengan adanya peningkatan kecepatan aliran fluida yang diterima silinder oscilating, pada kecepatan 0,5 m/s simulasi menghasilkan udara bertekanan sebesar 5341.54 Pa; pada kecepatan 0,75 m/s simulasi menghasilkan udara bertekanan sebesar 5091.82 Pa; pada kecepatan 1,0 m/s simulasi menghasilkan udara bertekanan sebesar 4977.39 Pa.

Kata kunci : *Simulasi CFD, Kompresor Linear, Sistem Pneumatik.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

SIMULATION OF LINEAR COMPRESSOR WITH CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC) FOR POWER SEA WATER POWER PLANT BASED ON PNEUMATIC SYSTEM

Name of Student : Muhammad Iqbal
NRP : 0421154600021
Department : Marine Engineering FTK - ITS
Supervisor : Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc.

Abstract

Energy is a very important element for human life. Since the industrial revolution, fossil fuels have always been a major resource for energy. On the other hand, there is renewable energy that will not run out if used sustainably if managed properly. In addition to recoverable, this energy is also environmentally friendly, safe and affordable by the community. So now many are competing to create renewable and environmentally friendly fuel, one of which is developed and suitable for use in Indonesia is the sea water power plant because most of Indonesia consists of oceans

In this research, the process of modeling and simulating a linear compressor based on the existing pneumatic system on the sea water power plant. In this experiment, there are three variation experiments on the fluid velocity through which the oscillating cylinder is the main driver of the linear compressor. That is, at a speed variation of 0.5 m/s; 0.75 m/s; 1.0 m/s.

The amount of model I of pressurized air decreases with the increase of fluid flow velocity received by the oscillating cylinder, at a speed of 0.5 m / s simulation resulting in a pressurized air of 5341.54 Pa; at a speed of 0.75 m / s simulation yields pressurized air at 5091.82 Pa; at a speed of 1.0 m / s simulation produced a pressurized air of 4977.39 Pa

Keywords: CFD Simulation, Linear Compressor, Pneumatic System.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT, memuji, memohon pertolongan dan meminta ampun kepada-Nya. *Alhamdulillahirabbil Alaamiin*. Atas berkat rahmat Allah yang Maha Kuasa, penulis panjatkan puji dan syukur telah terselesaikannya skripsi yang berjudul **“Pemodelan Matematik Sistem Kendali Gerak Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Arus Air Laut Berdasarkan Sistem Pneumatik”** dengan baik tepat pada waktunya.

Penulisan skripsi ini disusun guna menyelesaikan salah satu dari beban satuan kredit semester (SKS) dan memperoleh gelar sarjana teknik di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam proses penyelesaian skripsi ini penulis mengucapkan terima kasih atas kasih sayang dan dukungan moral serta material kepada kedua orang tua penulis Djaini dan Munawaroh beserta keluarga tercinta. Ucapan terima kasih juga penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat dicantumkan satu persatu. Khususnya kepada beberapa pihak berikut ini:

1. Indra Ranu Kusuma, S.T., M.Sc. sebagai dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan arahan selama proses penelitian ini.
2. Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T. sebagai Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
3. Segenap keluarga, terutama Ibu dan Bapak tercinta yang selalu memberi dukungan, semangat dan doa untuk keberhasilan putra tercintanya.
4. Teman dan Kakak dari anggota Laboratorium Marine Electrical and Automatical System Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS yang telah menemani, memotivasi, dan memberikan ilmu serta pengetahuan tentang materi penelitian ini.
5. Seluruh civitas akademika Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang telah membirikan fasilitas dalam penyelesaian skripsi ini

Demikian besar harapan penulis atas hasil dari skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembacanya serta dapat bermanfaat bagi adik-adik tingkat dalam penyelesaian tugas skripsi kedepannya sebagai bahan referensi. Mohon maaf penulis sampaikan apabila ada kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Koreksi dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan dalam penyempurnaan skripsi ini.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II	5
LANDASAN TEORI	5
2.1 <i>Portable Induced Vibration</i>	5
2.2 Kompresor	7
2.3 Sistem Pneumatik	7
2.3.1 Piston pada Pneumatis.....	8
2.3.2 Kebutuhan Udara pada Pneumatis	9
2.3.3 Aliran Fluida pada Pneumatis	9
2.4 Linear Kmpresor	9
2.5 Computational Fluid Dynamic	13
BAB III	21
METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	21
3.2 Studi literatur	23
3.3 Penentuan Parameter dan Skenario model	23
3.5 Validasi Hasil Perhitungan	24
3.6 Analisa Data Hasil Perhitungan dan Simulasi	24
BAB IV	27
ANALISA DATA dan PEMBAHASAN	27
4.1 Ruang Lingkup	27
4.2 Analisa Data	27
4.2.1 Analisa modeling silinder kompresor linear dengan cara empiris ..	28
4.2.2 Analisa modeling silinder kompresor linear dengan simulasi	28
4.3 Analisa Hasil	28
BAB V	52
KESIMPULAN	53

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Portable Induced Vibration	2
Gambar 2.1 Desain Portable Induce Vibration	5
Gambar 2.2 Portable Induce Vibration dengan potongan melintang	5
Gambar 2.3 Macam-macam <i>Actuator</i>	7
Gambar 2.4 Jenis <i>Single Acting Cylinder</i> dan Simbol	7
Gambar 2.5 Jenis <i>Double Acting Cylinder</i> dan Simbol	8
Gambar 2.11 Diagram Perubahan Langkah dan Kontrol	13
Gambar 2.12 Skema Representasi Sistem Aktuator Pneumatik	14
Gambar 3.1 Bagan Flowchart Metodologi Penelitian	18
Gambar 4.1 Jendela Window	20
Gambar 4.2 Simulink	21
Gambar 4.3 Jendela Window Simulink	21
Gambar 4.4 Blank Model	22
Gambar 4.5 Jendela Window Blank Model	22
Gambar 4.6 Library Browser	23
Gambar 4.7 Jendela Window Library Browser	23
Gambar 4.8 Rangkaian Pneumatik Double Aktng	24
Gambar 4.9 Reservoir	25

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Simbol dan Nama Prosesor	9
Tabel 4.1 Kebutuhan Udara	19
Tabel 4.2 Gaya Piston Langkah Maju	20
Tabel 4.3 Gaya Piston Langkah Mundur	20
Tabel 4.4 Hasil Dari Percobaan Variasi	42

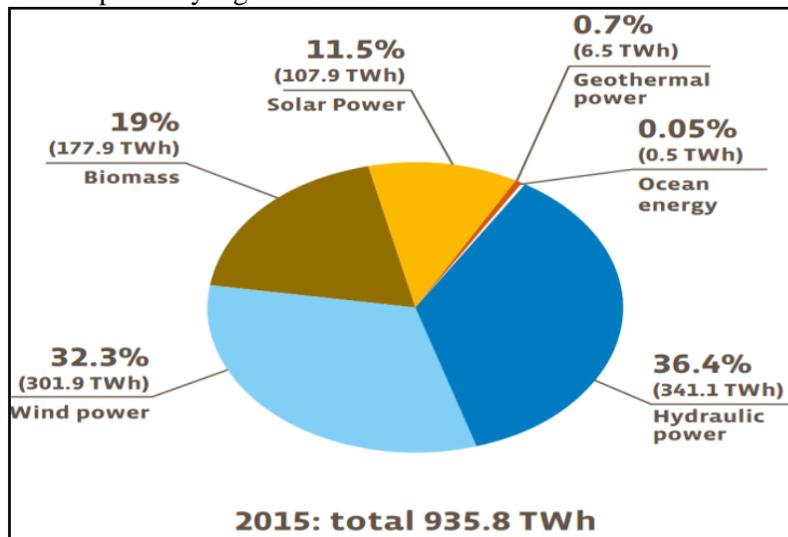
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

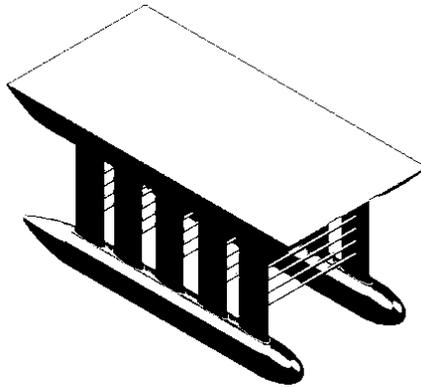
Energi merupakan suatu unsur yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Sejak revolusi industri, bahan bakar fosil selalu menjadi sumber daya utama untuk energi. Namun seiring berjalannya waktu, efek dari penggunaan bahan bakar fosil semakin terasa dampak negatif terhadap kehidupan manusia. Oleh sebab itu dibuatlah kebijakan tentang penggunaan energi tak terbarukan. Kebijakan yang pertama, bahan bakar fosil membutuhkan waktu yang sangat lama untuk diproduksi kembali oleh bumi. Selanjutnya, pada abad ke-20 terjadi perubahan dalam kebijakan yang bertujuan untuk mengurangi emisi, yang menyebabkan terjadinya pemanasan global [1].

Di sisi lain, terdapat energi terbarukan yang tidak akan habis bila digunakan secara berkelanjutan jika dikelola dengan baik [2]. Selain dapat dipulihkan kembali, energi ini juga ramah lingkungan, aman dan terjangkau oleh masyarakat. Melihat dari data [3] sebagian besar dari energi terbarukan berasal dari angin, surya, biomasa dan panas bumi. Tetapi hanya sedikit energi yang dihasilkan dari ocean energy. Menurut data dari [3], pada tahun 2015 yang ditunjukkan pada gambar 1.1, hanya sebesar 0,05% energi yang dimanfaatkan dari total listrik yang dihasilkan dari sumber daya terbarukan. Melihat dari luas lautan yang jauh lebih luas dari luas daratan, energi dari laut menawarkan potensi yang lebih baik.



Gambar 1.1 Prosentase Penggunaan Energi Terbarukan
(sumber : *Observ'ER. The state of renewable energies in europe*,(2016))

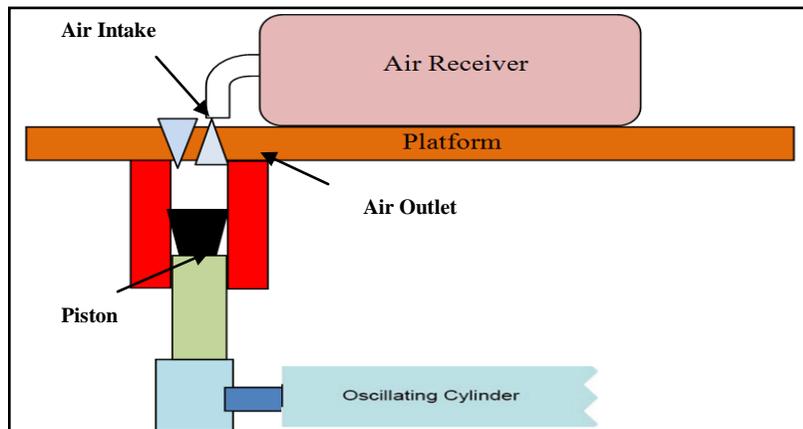
Portable Induced Vibration atau lebih dikenal dengan VIVACE (*Vortex Induced Vibrations for Aquatic Clean Energy*) merupakan pembangkit listrik dengan sumber energi terbarukan yaitu energi arus air laut [4]. *Portable Induced Vibration* yang lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 1.2.



Gambar1.2 Portable Induced Vibration

Dari sekian banyak komponen pada Portable Induced Vibration terdapat satu komponen utama yaitu linear kompresor yang berfungsi sebagai konverter yang merubah gaya lifting menjadi kompresi udara bertekanan seperti kebalikan dari prinsip sistem pneumatik.

Sedangkan kompresor linier secara umum adalah kompresor fluida gas dimana piston bergerak sepanjang jalur linier untuk mengkompresi untuk meminimalkan kehilangan energi selama konversi. Kompresor linier tunggal piston menggunakan penyeimbangan dinamis, dimana massa bergerak tambahan dilekatkan secara fleksibel ke unit piston yang bergerak dan ke casing kompresor stasioner menggunakan pegas mekanis [6]. Adapun ilustrasi dari linear kompresor yang ditunjukkan pada gambar 1.3.



Gambar 1.3: Ilustrasi Linear Compressor

Maka dari itulah sebagai komponen utama pada Portable Induced Vibration, Linier Kompresor yang berfungsi sebagai pengkonversi energi dari gaya lifting pada oscillator menjadi output udara bertekanan berdasarkan prinsip sistem pneumatik akan di kaji pada penelitian ini.

1.2 Perumusan Masalah

Penelitian ini yaitu mengkaji komponen utama pada Portable Induced Vibration, Linier Kompresor yang berfungsi sebagai pengkonversi energi dari gaya lifting pada oscillator menjadi output udara bertekanan menggunakan simulasi CFD berdasarkan prinsip sistem pneumatik. Dimana energi VIVACE, yang berupa energi gerak dikonversikan menjadi udara terkompresi guna sebagai pembangkit generator. Adapun bagaimana model linear kompresor yang akan dikaji lebih dalam.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian pada tugas akhir ini yaitu:

1. Memperoleh hasil desain sebuah linear kompresor sebagai konversi energi terhadap gaya angkat oscilating pada pembangkit listrik bertenaga arus air laut.
2. Memperoleh hasil kajian simulasi linear kompresor terhadap oscilating part pada pembangkit listrik bertenaga arus air laut.
3. Mendapatkan hasil perbandingan udara terkompresi pada linear kompresor terhadap gaya angkat oscilating part.

1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini mengkaji konversi energi oleh linier kompresor terhadap gaya angkat pada oscillating.
2. Objek penelitian linier kompresor hanya terbatas pada dimensi, cara kerja, dan simulasi.
3. Tidak memasukkan faktor perpindahan panas dan stabilitas pada konstruksi.
4. Tidak memasukkan faktor material dan efisiensi.
5. Permodelan CFD menggunakan software Solidwork.

1.5 Manfaat Penelitian

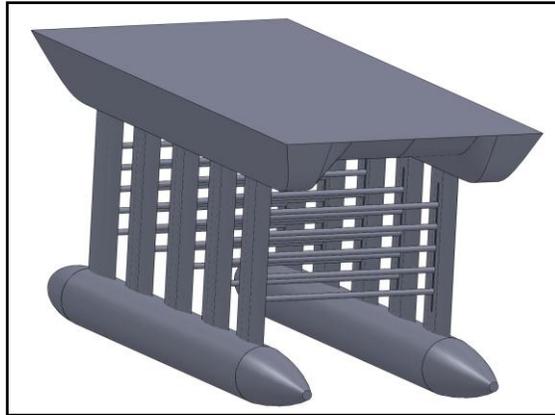
Manfaat penelitian ini adalah memberikan kajian guna sebagai pendukung alternatif energi pembangkit listrik tenaga air laut, memperkuat hasil analisa dari metode-metode sebelumnya, memperoleh solusi dalam memaksimalkan sebuah PLTAL.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 *Portable Induced Vibration*

Portable Induced Vibration atau lebih dikenal dengan VIVACE (*Vortex Induced Vibrations for Aquatic Clean Energy*) merupakan pembangkit listrik dengan sumber energi terbarukan yaitu energi arus air laut [5]. Model *Portable induced Vibration* dapat dilihat pada gambar 2.1.

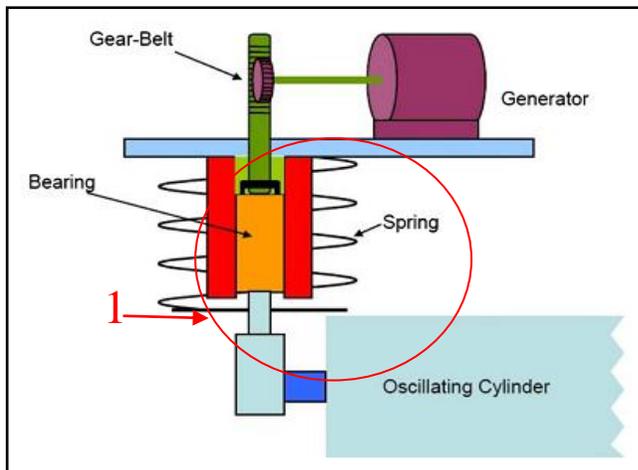


Gambar 2.1 Desain *Portable Induced Vibration*
(Bayu,2012)

Jika kondisi silinder yang ditunjukkan pada nomor satu pada gambar 2.1 diatas apabila silinder ditumpu dan memungkinkan bergerak fleksibel atau *flexibly-mounted cylinder*, maka gaya drag and lift dapat menghasilkan silinder bergerak ke atas dengan frekuensi tertentu. Gaya lift tersebut akan menimbulkan getaran tegak lurus arah aliran fluida (*cross-flow vibration*) dan gaya drag menggetarkan silinder dalam arah aliran fluida (*in-line vibration*). Sehingga kedua getaran dalam fenomena ini disebut getaran akibat pelepasan vortex (*Vortex Induced Vibration*) [4].

Hasil dari percobaan dari penelitian sebelumnya memperlihatkan bahwa pemisahan vortex dipaksa berinteraksi dengan getaran silinder sebelum vortex terlepas dan terjadi pada frekuensi yang sama. Fenomena ini dikenal sebagai *lock-in* atau resonansi. Dalam rentang *lock-in* tiga frekuensi saling berdekatan yaitu berturut-turut frekuensi getaran silinder, frekuensi *vortex-shedding* dan frekuensi alami sistem. Pada kondisi ini pelepasan vortex serta gaya angkat yang terjadi akan beresilasi serempak dengan dengan gerakan silinder sehingga amplitudo getaran yang dihasilkan menjadi lebih besar [4].

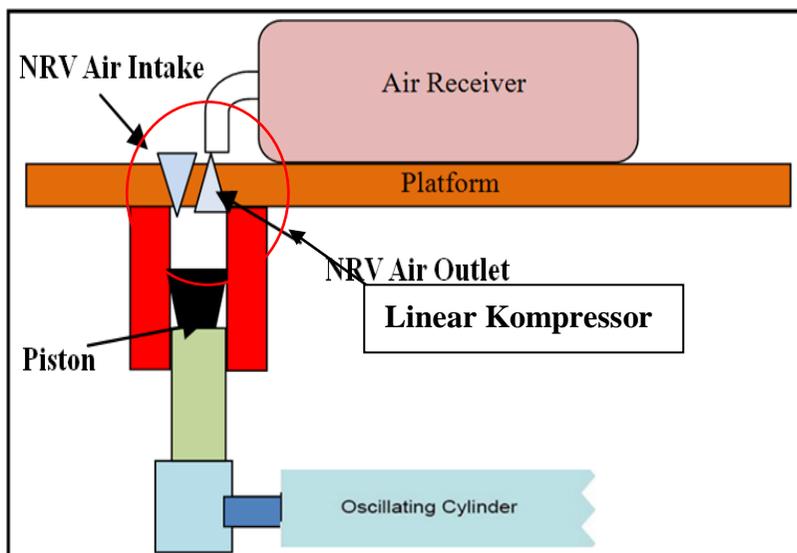
Adapun dalam penelitian sebelumnya (Bernitsas:2008) mengkaji simulasi model *Portable induced Vibration* yaitu merubah gaya angkat pada oscilating menjadi gaya gerak yang diteruskan oleh shafting yang menggerakkan generator listrik diatas platform [4]. Adapun ilustrasi ditunjukkan pada Gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 Skema PLTAL *Portable induced Vibration* (Bernistas,2008)

Sedangkan dalam penelitian ini mengkaji bagian utama yaitu linear kompresor yang berfungsi sebagai konverter yang merubah gaya lifting menjadi kompresi udara bertekanan seperti kebalikan dari prinsip sistem pneumatik, yang akan diteruskan pada air receiver untuk suplai turbin pada platform.

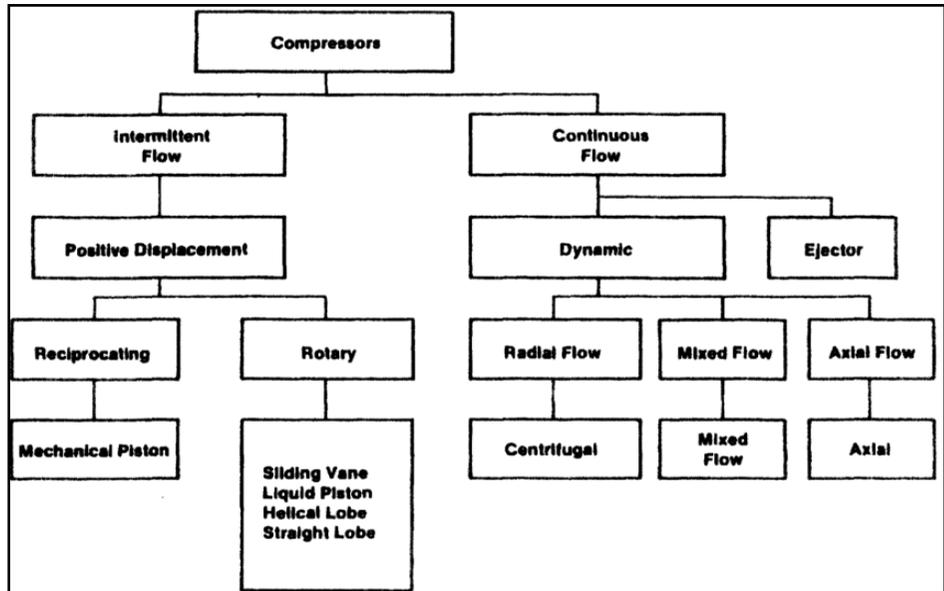
Udara luar normal (tekanan atmosfer) masuk melalui *NRV Air-inlet*, dan selanjutnya akan dikompresi oleh linear kompresor dan keluar melalui *NRV Air-outlet* dan diteruskan menuju *Air Receiver*. Adapun ilustrasi dari linear kompresor yang ditunjukkan pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Skema PLTAL Menggunakan Linear Kompresor

2.2 Kompresor

Kompresor terbagi atas 2 jenis berdasarkan jenis kompresinya, yaitu: kompresi secara *intermittent* dan kontinu, kompresi *intermittent* terjadi pada kompresor positif *displacement*. Sedangkan kompresi kontinu terjadi pada kompresor dinamis [7].



Gambar 2.4 Diagram Klasifikasi Kompresor
(Brown-Royce, 2005)

Tiga jenis kompresor yang umum digunakan adalah *reciprocating compressor*, kompresor sentrifugal dan kompresor aksial. Dua faktor utama yang dijadikan acuan dalam penggunaan jenis kompresor adalah debit dan rasio tekanan.

Dari grafik diatas terlihat bahwa untuk jenis *reciprocating compressor* digunakan pada debit yang rendah dan range rasio tekanan besar. Dan pada jenis kompresor sentrifugal digunakan pada debit yang rendah dan range rasio tekanan cukup besar. Sedangkan untuk jenis kompresor aksial digunakan pada debit yang besar dan range rasio tekanan rendah.

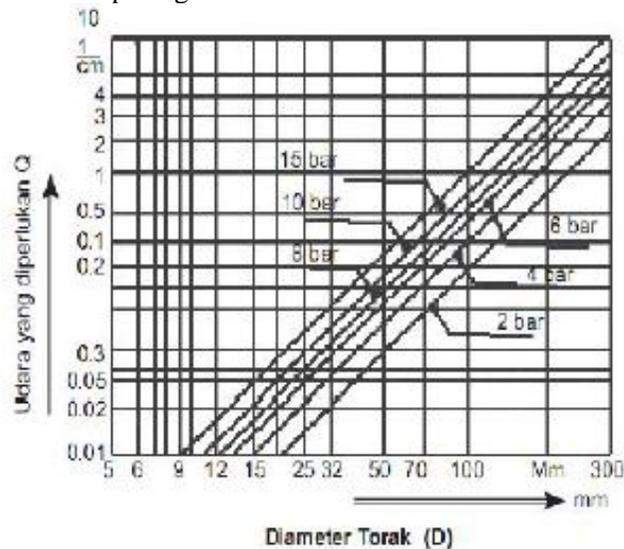
Jenis kompresor yang digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Air Laut untuk penelitian ini adalah linear kompresor yang menekankan pada jenis kompresor *reciprocating* tetapi mekanismenya menggunakan prinsip pneumatik tanpa menggunakan mekanisme *crankshaft*, mudahnya piston digerakkan oleh oscilating sepanjang jalur linear.

2.3 Sistem Pneumatik

Pneumatik merupakan ilmu yang mempelajari teknik pemakaian udara bertekanan (udara kempa). Sistem udara bertekanan merupakan upaya mengendalikan aktuator baik berupa silinder, agar dapat bekerja sebagaimana yang diharapkan. Masukan (*input*) diperoleh dari katup sinyal, selanjutnya diproses melalui katup

pemroses sinyal kemudian ke katup kendali sinyal. Bagian kontrol akan mengatur gerakan aktuator (*output*) agar sesuai dengan kebutuhan. Sistem kontrol pneumatik merupakan bagian pokok sistem pengendalian yang menjadikan sistem pneumatik dapat bekerja secara otomatis. Adanya sistem kontrol pneumatik ini akan mengatur hasil kerja baik gerakan, kecepatan, urutan gerak, arah gerakan maupun kekuatannya. Dengan sistem kontrol pneumatik ini sistem pneumatik dapat didesain untuk berbagai tujuan otomatis. Bentuk-bentuk dari sistem kontrol pneumatik ini berupa katup (*valve*) yang bermacam-macam.

Sistem gerak dalam pneumatik memiliki optimalisasi/efektifitas bila digunakan pada batas-batas tertentu. Adapun batas-batas ukuran yang dapat menimbulkan optimalisasi penggunaan pneumatik antara lain diameter piston antara 6 s/d 320 mm, panjang langkah 1 s/d 2000 mm, tenaga yang diperlukan 2 s/d 15 bar, dapat juga bekerja pada tekanan udara dibawah 1 atmosfer. Adapaun efektifitas penggunaan udara bertekanan dapat dilihat pada grafik di balik halaman ini:



Gambar 2.6 Efektifitas Udara Bertekanan

2.3.1 Piston pada Pneumatis

Gaya piston yang dihasilkan oleh silinder bergantung pada tekanan udara, diameter silinder dan tahanan gesekan dari komponen perapat. Gaya piston secara teoritis dihitung menurut rumus sebagai berikut:

$$F = A \times P \dots\dots\dots (1)$$

Untuk silinder kerja tunggal :

$$F = (D^2 \times \pi/4 \times P) - f \dots\dots\dots (2)$$

Untuk silinder kerja ganda :

❖ Langkah maju

$$F = D^2 \times \pi/4 \times p \dots\dots\dots (3)$$

❖ Langkah mundur

$$F = (D^2 - d^2) \times \pi/4 \times p \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

F = Gaya piston (N)

f = Gaya pegas (N)

D = Diameter piston (m)

d = Diameter batang piston (m)

A = Luas penampang piston yang dipakai (m²)

P = Tekanan kerja (Pa)

2.3.2 Kebutuhan Udara pada Pneumatis

Sedangkan untuk menyiapkan kebutuhan udara terlebih dahulu harus diketahui konsumsi udara pada sistem. Pada tekanan kerja, diameter piston dan langkah tertentu, konsumsi udara dihitung sebagai berikut:

❖ Silinder kerja tunggal

$$Q = s \times n \times q \dots\dots\dots (5)$$

❖ Silinder kerja ganda

$$Q = 2 (s \times n \times q) \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

Q = Kebutuhan udara silinder (l/min)

q = Kebutuhan udara persentimeter langkah piston

s = Panjang langkah piston (cm)

n = Jumlah siklus kerja per-menit

2.3.3 Aliran Fluida pada Pneumatis

Aliran Fluida untuk pneumatik pada kecepatan rendah pada dinding-dinding pipa dan aliran yang paling tinggi di pusat pipa. Ini dikenal dengan aliran *laminer* atau *streamline*. Sifat aliran ditentukan pada bilangan *reynolds* (Re) yang diberikan oleh persamaan sebagai berikut :

$$R_e = (v \times d \times \rho) / \eta \dots\dots\dots (7)$$

Dimana:

v = Kecepatan aliran (m/s)

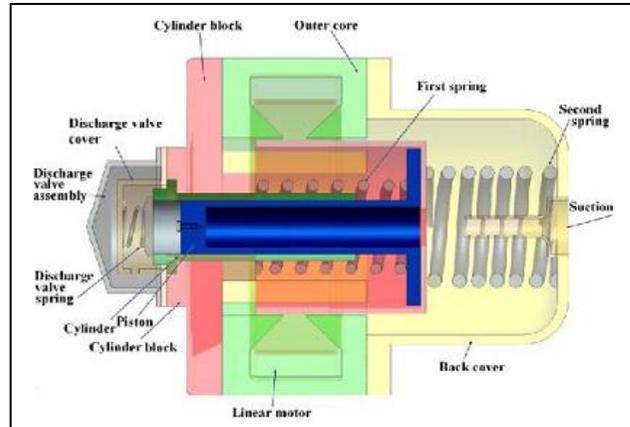
d = Diameter pipa (mm)

ρ = Densitas (kg/m³)

η = Viskositas

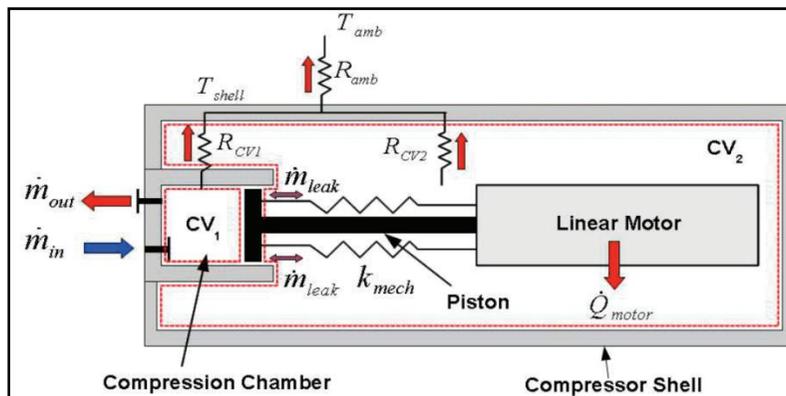
2.4 Linear Kmpresor

Linear kompresor adalah pengkompresi fluida dimana piston bergerak sepanjang jalur linear (lurus searah). Linear kompresor digerakan oleh linear motor yang dikopel langsung oleh piston dan pegas untuk gerak resonansi [6].



Gambar 2.7 Detail Potongan Linear Kompresor pada Mesin Pendingin (Sevekari,2013)

Kompresor linear sangat banyak diaplikasikan untuk mesin-mesin elektronik pendingin karena mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan teknologi kompresor konvensional. Kompresor linear adalah kompresor berjenis kompresor displacement atau mirip dengan kompresor *reciprocating* tetapi kompresor linear tidak memiliki mekanisme *crankshaft* untuk menggerakkan piston. Gaya yang bekerja pada piston adalah karena pegas mekanis, termasuk efek gas dan motor penggerak elektrodinamika. Massa piston termasuk sebagian massa pegas dan massa koil penggerak [8]. Piston digerakan langsung oleh motor linear yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.8 Skema Kompresi Udara Linear Kompresor pada Mesin Pendingin (Craig-Groll,2010)

Proses kompresi udara dimodelkan menggunakan perubahan massa dan energi melalui kontrol volume chamber. Linear kompresor dipecah menjadi dua volume kontrol seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.8. yang pertama adalah ruang kompresi untuk kompresor, sedangkan kedua terdiri dari sisa volume dalam kompresor.

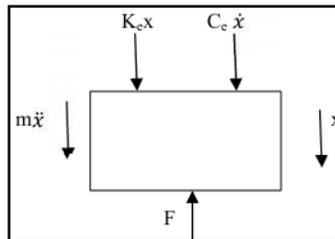
Persamaan proses kompresi dipecahkan setiap volume kontrol dan digabungkan melalui sub model kebocoran, getaran, dan perpindahan panas [8].

Sedangkan dari persamaan Gambar 2.8 diatas diketahui linear motor sebagai penggerak. Sedangkan dalam penelitian ini gaya piston (F) sudah ditentukan yaitu gaya angkat pada oscilating pada penelitian sebelumnya (Bayu:2012). Sehingga dari persamaan diatas dapat kita tentukan beberapa karakteristik dari desain kompresor linear.

Model umum untuk volume gas terdiri dari persamaan persamaan energi. Dengan menggunakan asumsi bahwa gas ideal, tekanan dan suhu di dalam chamber bersifat homogen, dan energi kinetik dan energi potensial dapat diabaikan, maka harus dituliskan persamaan untuk masing-masing ruangan.

Beberapa persamaan yang digunakan untuk menentukan karaktersitik kompresor linear [6], sebagai berikut:

a. Gerak Piston



'Ke' adalah konstanta pegas yang setara, 'Ce' adalah konstanta redaman kental dan 'M' adalah massa beresonansi sistem. Persamaan gerak yang mengatur bagian mekanis dari sistem ini, oleh karena itu diberikan persamaan dibawah ini:

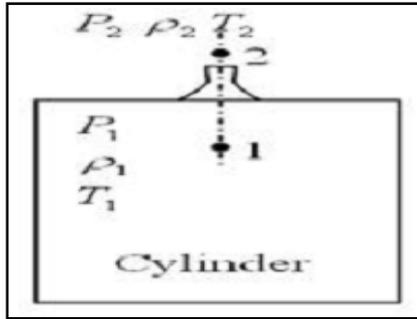
$$M_e \frac{d^2x}{dt^2} + C_e \frac{dx}{dt} + K_e x = F \dots\dots\dots (8)$$

Dimana:

- Kc = Kp + Kg
- Kp = Tegangan pegas mekanis
- Kg = Kekakuan pegas gas
- F = Gaya angkat oscilating

b. Estimasi Aliran Udara

Laju aliran massa dari silinder dan silinder melalui katup pelepasan dan katup hisap masing-masing, dapat diasumsikan sebagai aliran massa melalui nozel.



- **Kasus 1: Dua katup tertutup**

$$P_{\text{cylinder}} < P_{\text{discharge}} \text{ and } P_{\text{suction}} < P_{\text{cylinder}} \dots\dots\dots (9)$$

Ketika kedua katup ditutup, massa mengalir ke dan keluar dari silinder adalah nol atau massa di dalam silinder tetap konstan.

$$m_{\text{in}} = 0, m_{\text{out}} = 0 \dots\dots\dots (10)$$

- **Kasus 2: Katup discharge terbuka**

$$P_{\text{cylinder}} > P_{\text{discharge}} \dots\dots\dots (11)$$

Saat katup pelepas terbuka maka massa dilempar keluar dari silinder. Kemudian,

$$M_{\text{out}} = \text{Gas density} * A_{\text{valve}} * \text{valve lift} \dots\dots\dots (12)$$

Kemudian massa baru di dalam silinder tersebut adalah,

$$M_{\text{cyl}} = M_{\text{cyl}} - m_{\text{out}} \dots\dots\dots (13)$$

- **Kasus 3: Katup suction terbuka**

$$P_{\text{cylinder}} < P_{\text{suction}} \dots\dots\dots (14)$$

Bila katup hisap terbuka maka massa masuk ke dalam silinder. Kemudian,

$$m_{\text{in}} = \text{Gas density} * A_{\text{valve}} * \text{valve lift} \dots\dots\dots (15)$$

Maka total massa di dalam silinder,

$$M_{\text{cyl}} = M_{\text{cyl}} + m_{\text{in}} \dots\dots\dots (16)$$

Dengan mempertimbangkan bahwa volume kontrol V , densitas ρ , massa m , tekanan P , dan suhu T , persamaan untuk gas ideal [9], yaitu sebagai berikut:

$$P = \rho \cdot R \cdot T \quad \dots\dots\dots (17)$$

Aliran massa diberikan persamaan dengan:

$$\dot{m} = \frac{d}{dt} \cdot (\rho \cdot V) \quad \dots\dots\dots (18)$$

Dan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\dot{m}_{ul} - \dot{m}_{iz} = \dot{\rho} \cdot V + \rho \cdot \dot{V} \quad \dots\dots\dots (19)$$

Dimana, m_{ul} , m_{iz} adalah input dan output mass flow. Sedangkan dari persamaan massa dan energi yang ditulis di atas volume kontrol umum dan menerapkan asumsi yang disederhanakan [10].

2.5 Computational Fluid Dynamic

CFD merupakan analisis suatu sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena sejenis lain yang terkait, misalnya reaksi kimia dengan menggunakan simulasi komputer [10]. Pada saat ini CFD adalah salah satu cara yang sangat penting dalam mensimulasikan berbagai fenomena fisik yang sulit dilakukan dalam suatu eksperimen. Meskipun tidak akan menggantikan peran eksperimen namun kelebihan khusus dari teknik ini yaitu mempunyai resiko yang kecil, serta alokasi waktu dan biaya dapat dikurangi [11].

Pemodelan CFD didasarkan pada penyelesaian persamaan Navier-Stokes, yaitu persamaan massa, momentum dan energi pada setiap titik pada grid dua atau tiga dimensi. Dapat atau tidak diterimanya hasil analisis CFD ditentukan oleh 3 faktor, yaitu: Konvergensi yaitu analisis kebenaran internal dimana tingkat kesalahan yang dirancang dipenuhi oleh model yang dikembangkan. Kedua adalah studi grid independence, yaitu untuk mengetahui efisiensi pemakaian grid, dan ketiga adalah verifikasi yaitu membandingkan hasil CFD dengan data lain yang ada sehingga secara realitas kebenaran dapat diterima [10].

Ada beberapa paket program CFD yang dapat digunakan untuk mensimulasikan aliran, namun kebanyakan terlalu sulit untuk membuat model geometri dan meshing, Solidworks merupakan salah satu paket program yang mampu memodelkan aliran fluida pada suatu geometri yang kompleks, selain itu Solidworks juga merupakan paket program komersial yang menyediakan berbagai macam aplikasi pada proses-proses di industri maupun bidang lingkungan. Kelebihan yang dimiliki Solidworks antara lain: lebih mudah dalam membuat model geometri, fleksibilitas mesh yaitu mampu menyelesaikan problem aliran dengan mesh yang tidak terstruktur dengan

relatif lebih mudah, mampu memperbesar atau memperkecil grid berdasarkan persamaan aliran.

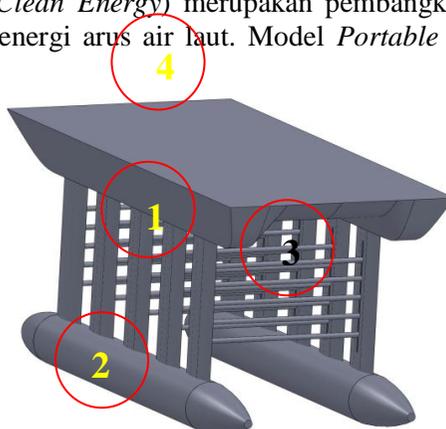
Terdapat beberapa jenis simulasi yang masing-masing digunakan pada jenis sistem yang sesuai. Adapun klasifikasi dari model simulasi tersebut adalah sebagai berikut (Law and Kelton, 2000) :

Simulasi yang dibedakan berdasarkan pengaruh terhadap waktu. Simulasi statis merupakan simulasi pada suatu sistem yang tidak mempunyai pengaruh besar terhadap waktu. Salah satu tipe yang paling umum dari simulasi statis menggunakan bilangan *random* untuk menyelesaikan permasalahan, biasanya stokastik dan bergulirnya waktu tidak mempunyai peran. Sedangkan simulasi dinamis adalah simulasi pada suatu sistem yang memiliki pengaruh besar terhadap waktu, contohnya simulasi dari mesin CNC yang bekerja 40 jam per minggu.

Simulasi yang dibedakan berdasarkan adanya perubahan tiap satuan waktu. Simulasi diskrit adalah simulasi dimana peubah/variabel dari sistem dapat berubah-ubah pada titik-titik waktu tertentu. Kebanyakan dari sistem manufaktur dimodelkan sebagai simulasi kejadian dinamis, diskrit, stokastik, dan menggunakan variabel *random* untuk memodelkan rentang kedatangan, antrian, proses, dan sebagainya. Sedangkan simulasi kontinu adalah simulasi dimana peubah/variabel berubah-ubah terus menerus dalam skala waktu tertentu, sebagai contoh, aliran fluida dalam pipa, atau terbangnya pesawat udara, kondisi variabel posisi dan kecepatan berubah secara kontinu terhadap satu dengan lainnya

Simulasi yang dibedakan berdasarkan sifat probabilistik. Simulasi deterministik merupakan simulasi pada suatu sistem yang tidak mengandung peubah/variabel yang bersifat probabilistik. Model simulasi stokastik adalah simulasi yang memiliki variabel yang bersifat probabilistik. Keluaran dari model simulasi stokastik adalah *random* dan oleh karenanya hanya merupakan perkiraan dari karakteristik sesungguhnya dari model. Maka diperlukan beberapa kali menjalankan model, dan hasilnya hanya merupakan perkiraan dari performansi yang diharapkan dari model atau sistem yang diamati.

Portable Induced Vibration atau lebih dikenal dengan VIVACE (*Vortex Induced Vibrations for Aquatic Clean Energy*) merupakan pembangkit listrik dengan sumber energi terbarukan yaitu energi arus air laut. Model *Portable induced Vibration* dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Desain *Portable Induce Vibration*

Pada gambar 2.4 *Portable Induce Vibration* memiliki beberapa komponen pada sistemnya, antara lain :

1. Oscillating part , pada prototype ini oscillating part ada lima buah sedangkan jumlah silinder pada masing – masing oscillating part terdapat lebih dari stu silinder dan akan dikaji pada tugas akhir ini untuk mendapat kombinasi jumlah silinder yang mampu menghasilkan osilasi terbaik.
2. Part base, merupakan komponen sistem apung pada *Portable Induced Vibration*.
3. Part stick (penegar), merupakan penyangga bermacam komponen pada *Portable Induced Vibration* antara lain silinder oscillator , part deck , part rotor dan stator. Untuk lebih detailnya komponen pada part stick dapat dilihat pada gambar 2.5 dengan posisi rotor, stator dan silinder yang diangkat ke atas.
4. Part deck, merupakan bagian permukaan dari Prototype ini yang berfungsi sebagai letak generator linier.



Gambar 2.10 *Portable Induce Vibration* dengan potongan melintang

Dari sekian banyak komponen tersebut hanya satu komponen saja yang akan dikaji pada penelitian ini yakni oscillating part pada *Portable Induced Vibration* yang lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.10 .

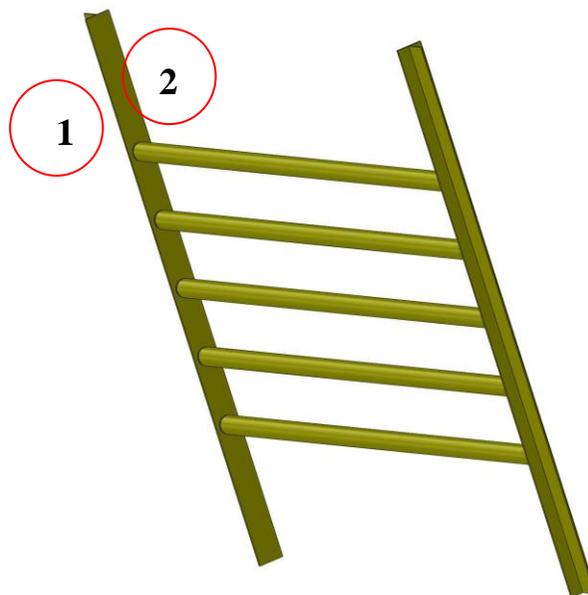
Parameter yang digunakan mengadopsi dari penelitian – penelitian sebelumnya. Pada penentuan jarak dan dimensi oscillating part akan diambil jarak antar silinder yang tidak terlalu jauh .

Sedangkan untuk formasi pada setiap susunan silinder akan di tentukan dengan susunan sejajar karena pada penelitian sebelumnya oleh mahasiswa Jurusan Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember menerangkan pada jurnal tugas akhirnya bahwa baik vertikal (sejajar) maupun segitiga tidak ada pengaruhnya dalam kinerja oscillating part itu sendiri , data amplitudo yang dihasilkan tidaklah cukup signifikan (Qudsiyah, 2010).

Penentuan diameter juga mengacu pada penelitian yang dilakukan mahasiswa Teknik kelautan ITS , pada jurnal tugas akhirnya dikatakan bahwa berdasarkan

pengujian yang telah dilakukan, maka *oscillating part* Model berdiameter terbesar, dengan aspek rasio 7,274 berukuran Diameter 12 cm dan Panjang 87 cm adalah *oscillating part* yang terbaik dari beberapa model lainnya yang diujikan. *Oscillating part* Model 3 ini menghasilkan Amplitudo rata-rata per Diameter (Arms) dengan nilai tertinggi yaitu 0,98 sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar diameter silinder pada *oscillating part* maka semakin besar gaya dan kecepatan eksitasi yang dihasilkan (Huda, 2011).

Fenomena getaran vorteks dikaji dengan memfokuskan penelitian pada kombinasi jumlah silinder yang akan di pakai, hal ini dilakukan karena komponen osilasi merupakan komponen terpenting yang memproduksi energi mekanik yang selanjutnya diubah menjadi energi listrik oleh generator Bentuk silinder yang akan dikaji pada tugas akhir ini berbentuk bundar absolut dalam kata lain tidak elips atau berbentuk tidak bundar absolut. Sebab mengacu pada penelitian sebelumnya oleh mahasiswa Teknik kelautan Institut teknologi Seepuluh Nopember telah dilakukan uji permodelan menggunakan CFD untuk mengetahui pengaruh bentuk silinder pada *ocillating part*. Pada penelitian ini, didapatkan nilai dari amplitudo yang dihasilkan sebesar 17-350 mm pada kecepatan aliran 0,4-0,7 m/s. Jika dibandingkan dengan bentuk silinder yang sudah ada sebelumnya, nilai dari amplitudo yang dihasilkan bentuk elips adalah lebih kecil. Kesimpulannya bentuk bundar lebih efektif dalam osilasi dibanding bentuk elips (Firdaus, 2010).



Gambar 2.11 Ocillatting part pada *Portable Induce Vibration*

Pada gambar 2.11 ditunjukkan bahwa komponen *oscillating part* terdiri dari silinder (no.1) dan penegar (no.2). Secara garis besar komponen yang diamati pada penelitian ini adalah silinder tersebut.

Fenomena getaran vorteks dikaji dengan memfokuskan penelitian pada kombinasi jumlah silinder yang akan di pakai, hal ini dilakukan karena komponen osilasi merupakan komponen terpenting yang memproduksi energi mekanik yang selanjutnya diubah menjadi energi listrik oleh generator .

2.6 Sistem

Sistem merupakan sekelompok komponen yang beroperasi secara bersama-sama untuk mencapai tujuan tertentu atau sekumpulan entitas yang bertindak dan berinteraksi bersama-sama untuk memenuhi suatu tujuan akhir yang logis (Law,2000). Sedangkan menurut Simatupang (1994), Sistem didefinisikan sebagai kumpulan dari elemen-elemen yang saling berinteraksi dan ada sesuatu yang mengikatnya menjadi satu kesatuan, terdapat tujuan bersama sebagai hasil akhir dan terdapat dalam suatu lingkungan yang kompleks dan sistem merupakan kondisi nyata yang dapat kita amati secara langsung.

2.6.1 Komponen sistem

- *Entity* adalah objek amatan dalam sebuah sistem. *Entity* bergerak, berubah status, mempengaruhi dan dipengaruhi oleh *entity* lain, serta mempengaruhi ukuran performansi output.
- *Activity* merupakan kegiatan-kegiatan (*task*) yang terjadi dalam sebuah sistem (baik langsung maupun tidak langsung) dalam melakukan proses dari *entity-entity* yang ada, atau dapat dikatakan sebagai proses-proses yang bisa melakukan / menyebabkan perubahan dalam sistem.
- *Attribute* adalah karakteristik dari *entity* yang nilainya melekat pada *entity* secara spesifik.
- *Variable* adalah sebuah informasi yang menggambarkan beberapa karakteristik dari keseluruhan sistem.
- *Resources* merupakan wadah untuk menampung entitas dalam jumlah tertentu. Entitas yang berasal dari suatu *Resources* dapat bergerak di dalam sistem jika *resources* tersebut bersifat *seize-delay-relase* (tampung-berhenti sejenak-keluarkan).
- *Control* adalah hal-hal yang mengendalikan sistem, mengatur bagaimana, dimana, dan kapan aktivitas suatu sistem tersebut berjalan

2.6.2 Model

Sistem yang telah dipelajari dan ditelaah secara baik akan memberikan kemudahan kepada pemodel dalam membangun modelnya. Maka, perlu pemahaman yang tepat dalam memahami model dan korelasinya pada sistem. Model merupakan representasi sederhana dari sistem baik secara kualitatif dan kuantitatif yang mewakili suatu proses atau kejadian, dimana dapat menggambarkan secara jelas hubungan interaksi antar berbagai faktor-faktor penting yang diamati. Model terdiri dari informasi-informasi mengenai sistem yang dibuat dengan tujuan untuk mempelajari sistem yang sebenarnya, model merupakan perwujudan batasan dan asumsi. Model tersebut dikembangkan untuk melakukan investigasi pengembangan

yang memungkinkan untuk diterapkan pada sistem nyata atau untuk mengetahui pengaruh kebijaksanaan yang berbeda-beda.

Model didefinisikan sebagai proses penggambaran operasi sistem nyata untuk menjelaskan atau menunjukkan relasi-relasi penting yang terlibat, Arifin (2009). Agar model yang dibuat sesuai dengan yang diinginkan pemodel, maka model harus memiliki empat karakteristik dasar sebagai berikut:

- Model harus mempunyai tingkat generalisasi yang tinggi. Semakin tinggi generalisasi suatu model, maka semakin baik model tersebut, sebab kemampuan untuk menyelesaikan suatu permasalahan semakin tinggi.
- Model harus mempunyai mekanisme yang transparan. Suatu model yang baik adalah model yang mampu menjelaskan kembali mekanisme pemecahan masalah yang dilakukan tanpa ada yang disembunyikan.
- Model harus mempunyai potensi untuk dikembangkan (pengembangan model). Model yang baik harus membuka kemungkinan peneliti lainnya untuk mengembangkan menjadi model yang kompleks dan berdaya guna untuk menjawab permasalahan sistem nyatanya.
- Model harus memiliki kepekaan terhadap perubahan asumsi. Model yang baik selalu memberi celah bagi para peneliti lainnya untuk membangkitkan asumsi lainnya.

Adapun tujuan pembuatan model adalah dapat merepresentasikan setiap kejadian atau situasi-situasi yang terjadi dalam kenyataannya, dapat menjelaskan perilaku dari objek atau elemen-elemen sistem yang diamati, dapat digunakan untuk membantu atau mempermudah proses pemecahan masalah pengambilan keputusan dan media pembelajaran yang lebih mudah bila dibandingkan harus mempelajari "*real sistem*"nya.

2.6.3 Pengertian Simulasi

Simulasi adalah tiruan dari sebuah sistem dengan menggunakan model komputer untuk melakukan evaluasi dan meningkatkan kinerja sistem. Diartikan pula sebagai suatu aktivitas dimana peneliti dapat menarik kesimpulan mengenai perilaku dari suatu sistem, melalui penelaahan perilaku model yang selaras dimana hubungan sebab-akibat sama dengan atau seperti yang ada pada sistem yang sebenarnya (Eriyanto, 1998).

Adapun tujuan dilakukannya simulasi adalah memberikan pemahaman pada model yang dibuat dan akan dibuat, mengukur kinerja dari model serta melakukan perbaikan dari model yang telah ada jika memungkinkan untuk diperbaiki, dan mengetahui performansi dari sebuah sistem yang dibuat. Syarat dikakukannya simulasi adalah sebagai berikut :

- Suatu keputusan operasional sedang dibuat
- Proses yang sedang dianalisa mudah digambarkan dan berulang
- Peristiwa dan aktivitas menunjukkan adanya interdependencies dan variabilitas

- Biaya berdampak pada keputusan dan lebih besar ongkos melakukan simulasi
- Beban untuk mengadakan percobaan pada sistem nyata lebih besar dibanding beban untuk melakukan simulasi.

2.6.3.1 Klasifikasi Model Simulasi

Simulasi merupakan satu-satunya cara yang dapat digunakan untuk mengevaluasi sistem riil dengan elemen-elemen stokastik yang tidak dapat dideskripsikan melalui model matematik. Terdapat beberapa jenis simulasi yang masing-masing digunakan pada jenis sistem yang sesuai. Adapun klasifikasi dari model simulasi tersebut adalah sebagai berikut (Law and Kelton, 2000) :

- Simulasi dinamis dan statis
 Simulasi yang dibedakan berdasarkan pengaruh terhadap waktu. Simulasi statis merupakan simulasi pada suatu sistem yang tidak mempunyai pengaruh besar terhadap waktu. Salah satu tipe yang paling umum dari simulasi statis menggunakan bilangan *random* untuk menyelesaikan permasalahan, biasanya stokastik dan bergulirnya waktu tidak mempunyai peran. Sedangkan simulasi dinamis adalah simulasi pada suatu sistem yang memiliki pengaruh besar terhadap waktu, contohnya simulasi dari mesin CNC yang bekerja 40 jam per minggu.
- Simulasi kontinu dan diskrit
 Simulasi yang dibedakan berdasarkan adanya perubahan tiap satuan waktu. Simulasi diskrit adalah simulasi dimana peubah/variabel dari sistem dapat berubah-ubah pada titik-titik waktu tertentu. Kebanyakan dari sistem manufaktur dimodelkan sebagai simulasi kejadian dinamis, diskrit, stokastik, dan menggunakan variabel *random* untuk memodelkan rentang kedatangan, antrian, proses, dan sebagainya. Sedangkan simulasi kontinu adalah simulasi dimana peubah/variabel berubah-ubah terus menerus dalam skala waktu tertentu, sebagai contoh, aliran fluida dalam pipa, atau terbangnya pesawat udara, kondisi variabel posisi dan kecepatan berubah secara kontinu terhadap satu dengan lainnya
- Simulasi stokastik dan deterministik
 Simulasi yang dibedakan berdasarkan sifat probabilistik. Simulasi deterministik merupakan simulasi pada suatu sistem yang tidak mengandung peubah/variabel yang bersifat probabilistik. Model simulasi stokastik adalah simulasi yang memiliki variabel yang bersifat probabilistik. Keluaran dari model simulasi stokastik adalah *random* dan oleh karenanya hanya merupakan perkiraan dari karakteristik sesungguhnya dari model. Maka diperlukan beberapa kali menjalankan model, dan hasilnya hanya merupakan perkiraan dari performansi yang diharapkan dari model atau sistem yang diamati.

2.6.4 Verifikasi dan validasi model

Model simulasi yang dibangun harus kredibel. Representasi kredibel sistem nyata oleh model simulasi ditunjukkan oleh verifikasi dan validasi model.

2.6.4.1 Verifikasi Model simulasi

Verifikasi adalah proses pemeriksaan apakah logika operasional model (program komputer) sesuai dengan logika diagram alur. Kalimat sederhananya, apakah ada kesalahan dalam program (Hoover dan Perry, 1989); verifikasi adalah pemeriksaan apakah program komputer simulasi berjalan sesuai dengan yang diinginkan, dengan pemeriksaan program komputer. Verifikasi memeriksa penerjemahan model simulasi konseptual (diagram alur dan asumsi) ke dalam bahasa pemrograman secara benar (Law dan Kelton, 1991). Teknik yang dapat dilakukan dalam proses verifikasi program komputer dari model simulasi antara lain :

- 1) Menulis dan “*debug*” program komputer untuk setiap model atau sub program untuk memastikan program yang dibuat dapat di “*running*”. Tahap pertama pada saat akan “*debug*” program dilakukan sebaiknya pada program yang dibuat secara sederhana dan secara bertahap selanjutnya dibuat yang lebih kompleks.
- 2) Pengembangan model simulasi dilakukan dalam suatu tim yang terdiri dari beberapa anggota yang memiliki tugas-tugas tertentu yang berbeda.
- 3) Melakukan “*tracing*” sehingga dapat menelusuri *state* sistem yang dimodelkan secara jelas.
- 4) Menjalankan model dengan melakukan penyederhanaan asumsi pada karakteristik model yang sudah diketahui.
- 5) Membuat *display* grafis yang mampu menampilkan output simulasi pada saat simulasi berjalan.

2.6.2 Validasi Model Simulasi

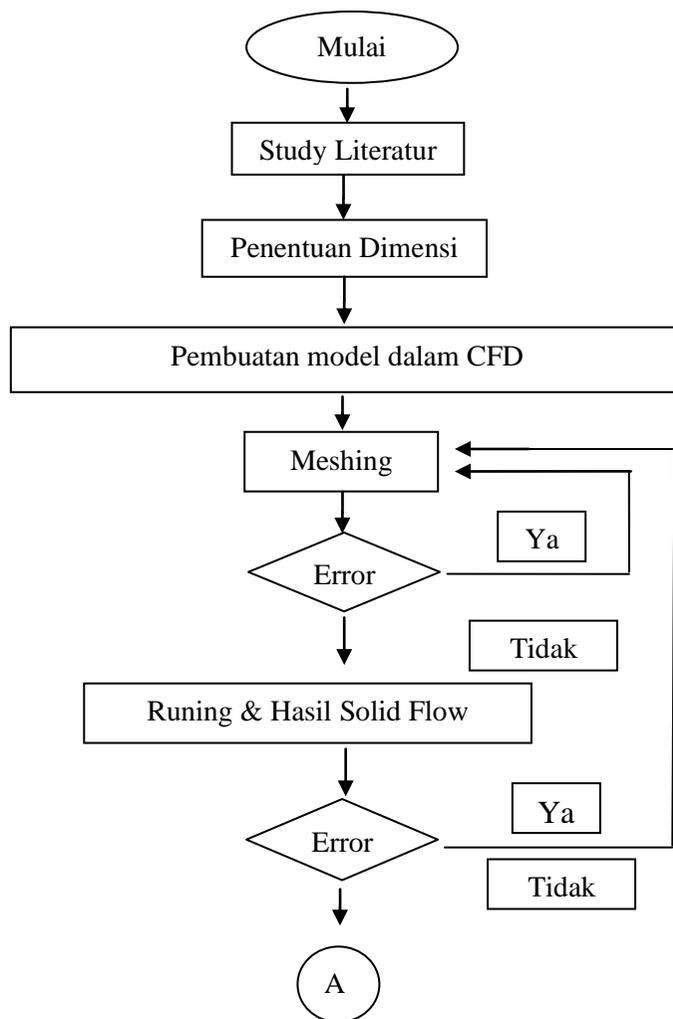
Validasi adalah proses penentuan apakah model, sebagai konseptualisasi atau abstraksi, merupakan representasi berarti dan akurat dari sistem nyata (Hoover dan Perry, 1989); validasi adalah penentuan apakah mode konseptual simulasi (sebagai tandingan program komputer) adalah representasi akurat dari sistem nyata yang sedang dimodelkan (Law dan Kelton, 1991). Sebuah model dapat diterima sebagai model yang memadai apabila model tersebut berhasil melewati hasil uji validasi. Pendekatan yang biasa digunakan dalam pengujian validasi adalah validasi kotak hitam dan validasi kotak putih.

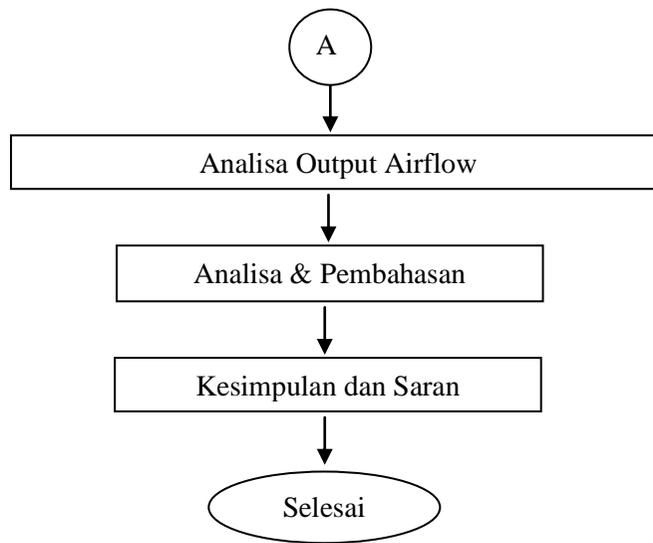
Validasi kotak hitam dilakukan dengan melakukan observasi perilaku riil sistem pada suatu kondisi tertentu dan menjalankan model pada kondisi yang sedapat mungkin mendekati kondisi riil. Model akan dianggap valid jika tidak terdapat perbedaan secara signifikan antara observasi riil sistem dengan output model simulasi. Metodologi yang dapat dilakukan untuk membandingkan adalah dengan uji statistik dengan menetapkan hipotesa awal terhadap rata-rata output riil dan selanjutnya dibandingkan dengan output model simulasi

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Metodologi penelitian adalah kerangka dasar dari tahapan penyelesaian tugas akhir. Metodologi tersebut mencakup semua kegiatan yang akan dilaksanakan untuk memecahkan masalah terhadap permasalahan skripsi ini. Berikut adalah alur penelitian yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada :





1. Studi literatur, yaitu melakukan pencarian informasi yang dibutuhkan untuk mengkaji konversi energi vortex khususnya berupa linear kompresor. Serta melakukan pencarian informasi pada penelitian-penelitian terbaru yang telah dilakukan oleh orang lain.
2. Melakukan identifikasi masalah dan pengumpulan data mengenai linear kompresor pada pembangkit listrik tenaga air laut. Tidak terkecuali kajian tentang linear kompresor pada studi kasus lain yang telah diteliti oleh peneliti lain sebelumnya meliputi komponen, gaya dan spesifikasi sistem yang digunakan.
3. Membuat pemodelan linear kompresor menggunakan *software* CFD sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan sebelumnya. Adapun dalam pemodelan CFD, dilakukan variasi gaya angkat dan amplitudo pada *oscilating* terhadap model supaya dapat digunakan untuk perbandingan dalam analisa data.
4. Pada proses akhir pemodelan dihasilkan hasil *running* yang diambil dari data visual berupa kecepatan eksitasi fluida setelah menumbuk selinder dan gaya angkat yang diterima oleh selinder. Data-data hasil simulasi ini selanjutnya yang akan digunakan untuk menghitung parameter-parameter yang berfungsi untuk memprediksi respon dinamik sistem.
5. Setelah hasil *running* selesai dan tidak terjadi error maka dapat dilakukan perhitungan terhadap respon dinamik total dari selinder melalui input data hasil simulasi menggunakan CFD.
6. Dari hasil perhitungan respon dinamik dapat dilakukan analisa data dengan cara membandingkan hasil-hasil yang didapat pada setiap model percobaan yang telah dilakukan, sehingga didapatkan nilai perbandingan untuk setiap model.
7. Menarik kesimpulan dari hasil analisa data baik yang diperoleh melalui simulasi komputer maupun hasil perhitungan manual.

3.2 Studi literatur

Studi literatur yaitu melakukan pencarian informasi yang dibutuhkan untuk mengkaji simulasi desain linear compressor. Serta melakukan pencarian informasi pada penelitian-penelitian terbaru yang telah dilakukan oleh orang lain.

3.3 Penentuan Parameter dan Skenario model

Tahap melakukan pengumpulan data yang berkaitan dengan linear compressor yaitu, meliputi *parts*, gaya pegas, diameter piston, panjang stroke, volume chamber dan gaya angkat oscillating yang digunakan untuk melakukan penelitian ini. Selain itu batasan masalah dalam penelitian ini lebih diperjelas pada tahap ini.

Skenario permodelan akan diawali dengan perhitungan volume dan luas penampang linear compressor serta pemilihan variabel-variabel yang berpengaruh dan penggunaan tools (software) untuk terlaksananya penelitian.

Parameter besaran gaya angkat oscillating sebagian bersumber dari jurnal dan penelitian sebelumnya. Parameter besaran gaya angkat pada oscillating antara lain:

Tabel 4.1 Data hasil gaya angkat oscillating (Bayu,2012)

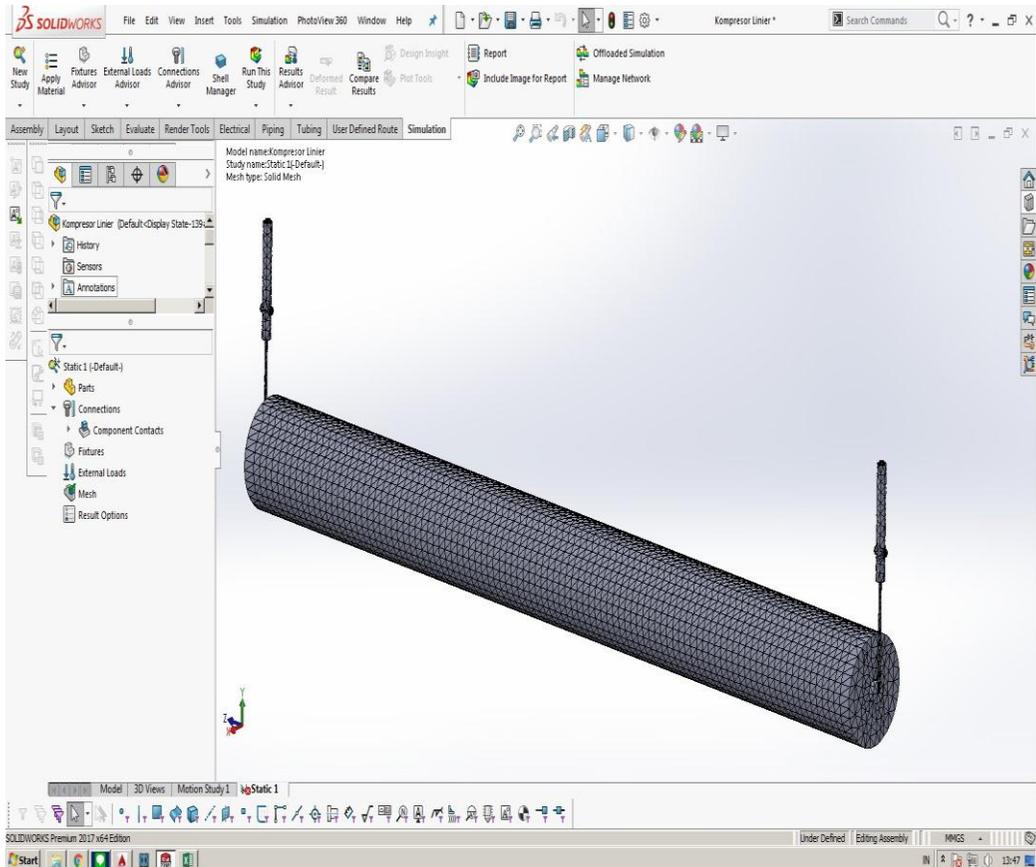
No	Pemodelan	Kecepatan Fluida (m/s)	Gaya Angkat dari Numeca (N)
1	Model I	0,5	219,00
		0,75	215,40
		1,00	213,70
2	Model II	0,5	307,30
		0,75	333,50
		1,00	399,60
3	Model III	0,5	517,20
		0,75	374,50
		1,00	503,80

Sedangkan untuk skenario modeling linear kompresor beserta prinsip kerjanya kurang lebihnya mengacu pada gambar 3.1. Adapun kriteria yang digunakan pada intake udara dan outflow menggunakan asumsi non return valve.

3.4 Simulasi permodelan dengan Solidworks

Pada tahap ini dilakukan permodelan pada objek yang akan diteliti yakni linear kompresor dengan variasi gaya angkat. Permodelan menggunakan software Solidworks

yang mampu mensimulasi aliran fluida yang terjadi pada output dan input ruang compressor. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik yang terjadi pada fluida serta mendapatkan data konkrit pada linear kompresor saat dilewati udara.



3.5 Validasi Hasil Perhitungan

Setelah dilakukan simulasi dan perhitungan terhadap model, maka perlu dilakukan validasi terhadap hasilnya. Dalam hal ini besaran gaya pada keluaran udara terkompresi yang dihasilkan tidak boleh kurang dari 10 bar.

3.6 Analisa Data Hasil Perhitungan dan Simulasi

Modeling linear compressor digunakan sebagai model acuan sesuai dengan tinjauan pustaka yang digunakan untuk memudahkan dalam analisa selanjutnya. Jika error yang didapat terlalu besar, maka diperlukan pengulangan pemodelan hingga mendapatkan nilai eror yang kecil.

3.7 Kesimpulan dan Saran

Semua hasil penelitian yang sudah dijamin keakuratan dan kevalidannya akan disimpulkan pada tahap ini guna menjawab permasalahan awal yang di gunakan sebagai latar belakang penelitian ini.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISA DATA dan PEMBAHASAN

4.1 Ruang Lingkup

Analisa dan pembahasan penelitian dijelaskan pada Bab IV ini, dimulai dari perencanaan pemilihan parameter untuk penelitian, permodelan dengan Computational Fluid Dynamic berbasis Solidworks hingga ke perhitungan manual untuk memperoleh nilai output airflow dari kompresor linear.

Adapun data yang digunakan dalam perhitungan manual adalah hasil yang diperoleh dari simulasi melalui CFD. Pada simulasi CFD fluida masuk kedalam ruang kompresor linear. Ketika selinder oscilating menumbuk selinder maka terjadilah gaya angkat yang diteruskan terhadap piston pada linear kompresor. Adanya gerak keatas pada piston inilah yang memberikan kompresi udara pada ruang kompresor linear. Berikut adalah modeling kompresor linear beserta silinder oscilating yang telah direncanakan pada bab sebelumnya:



Gambar 4.1 Model Oscilating Beserta Kompresor Linear

4.2 Analisa Data

Massa udara pada saluran inlet dan outlet kompresor linear dengan cara empiris dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan yang terjadi pada saluran masuk kompresor linear, analisa dilakukan pada saluran inlet dan outlet kompresor linear. Selain itu analisa empiris juga dilakukan untuk mengetahui sejauh mana perbedaan massa aliran udara kompresi dilakukan dengan cara empiris dan dengan menggunakan simulasi Solidworks.

4.2.1 Analisa modeling silinder kompresor linear dengan cara empiris

Untuk menentukan dimensi silinder yang dibutuhkan, terlebih dahulu dilakukan analisa dengan memberikan asumsi bahwa tekanan keluar minimum adalah 5 bar, sehingga diketahui sebagai berikut:

- **Perencanaan Silinder**

Untuk menghitung berapa besar diameter silinder yang digunakan, dengan cara:

$$d^2 = (F + R) / (p \times 7.86) \dots (FESTO : 5)$$

Dimana:

$$F = 213 \text{ N}$$

$$R = \text{Gesekan} \sim \pm 5\% \cdot F$$

$$= 5\% \cdot 213 \text{ N}$$

$$= 10,65 \text{ N}$$

p = Tekanan kerja

Estimasi tekanan 5 bar

$$500000 \text{ N/m}^2$$

Sehingga,

$$d^2 = (213,70 \text{ N} + 10,65 \text{ N}) / (500000 \times 7.86)$$

$$= 0,0000569 \text{ m}^2$$

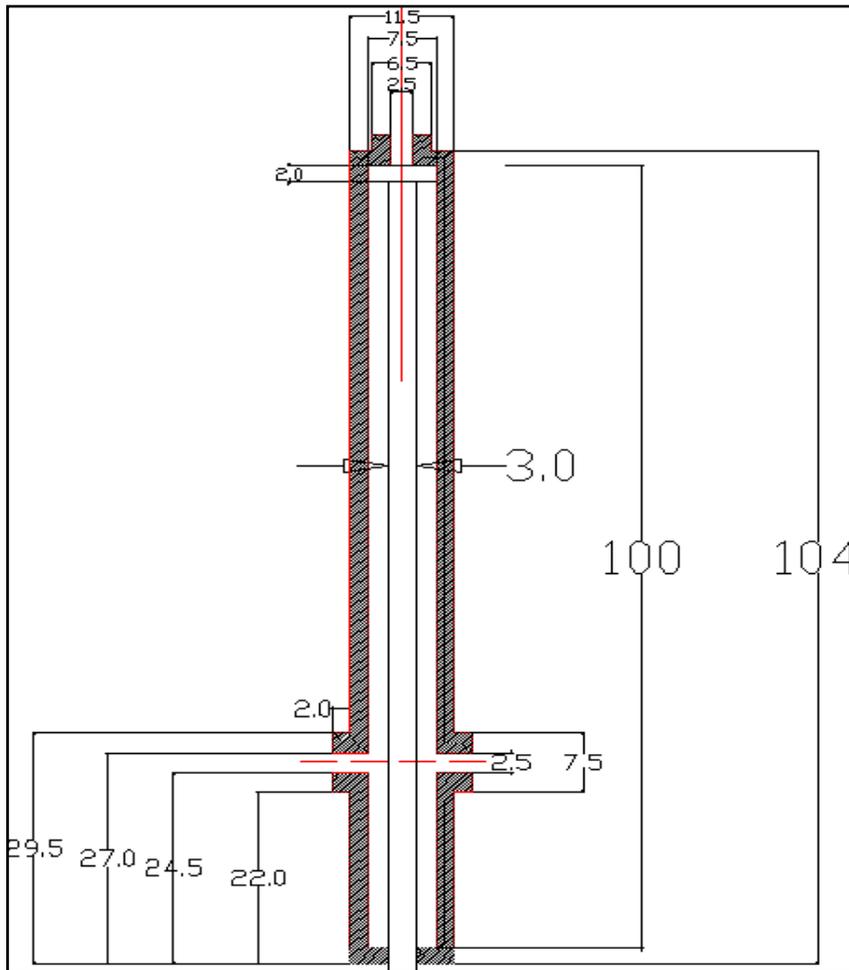
$$= \sqrt{0,0000569}$$

$$= 0,00755 \text{ m}$$

$$= 7,5 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan diameter tabung silinder didapat 7,5 mm, dengan diameter batang piston 3 mm.

Selanjutnya ditentukan ukuran-ukuran dalam perencanaan kompresor linear seperti gambar dibawah ini.



Gambar 4.2 Dimensi Kompresor Linear

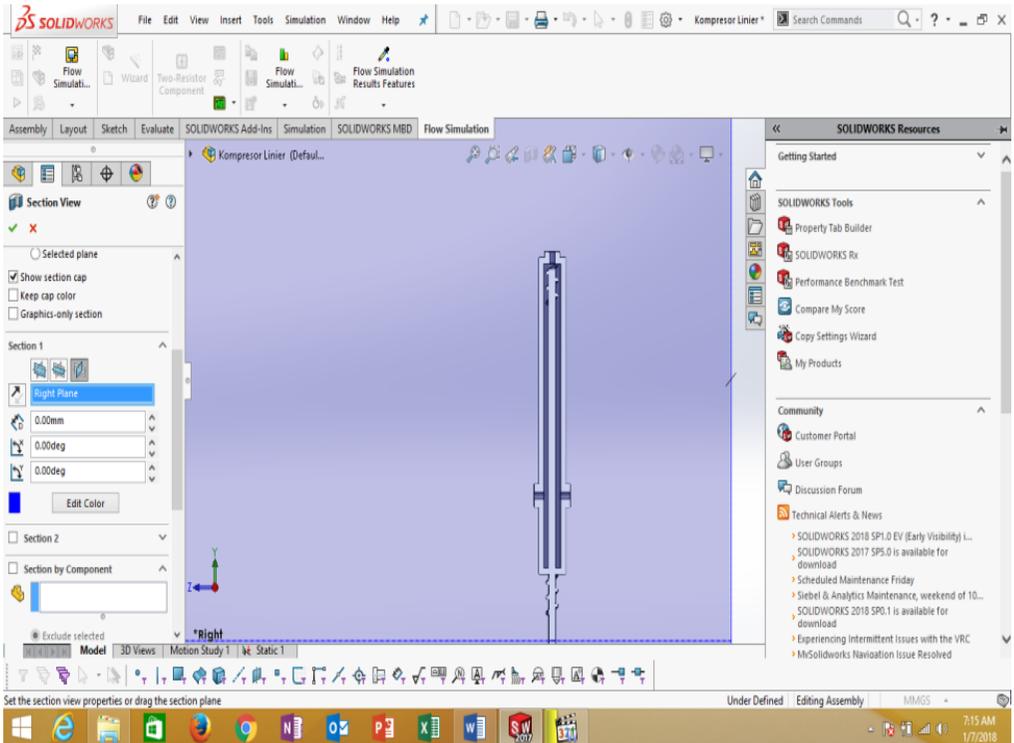
4.2.2 Analisa simulasi dengan menggunakan solidworks

Penentuan kondisi batas sangat diperlukan dalam analisa CFD karena sebagai dasar input data yang akan dianalisa.

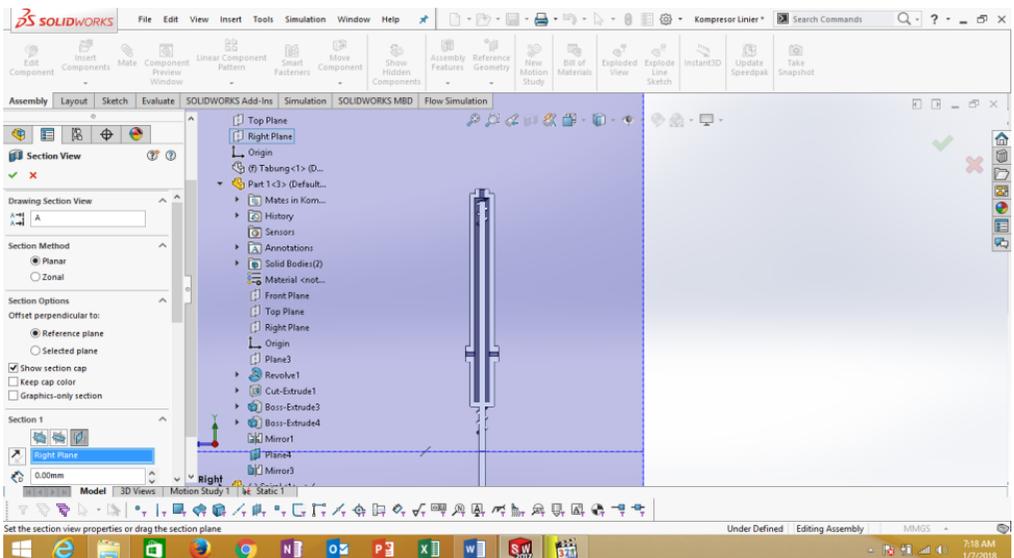
Kondisi batas disesuaikan dengan data hasil penelitian sebelumnya, gaya angkat oscilating silinder dan kecepatan fluida yang bekerja pada simulasi kompresor linear.

Proses simulasi dari pembentukan geometri yang terdiri dari enam langkah yaitu :

- Membuat model



Gambar 4.3 Modeling Kompressor Linear

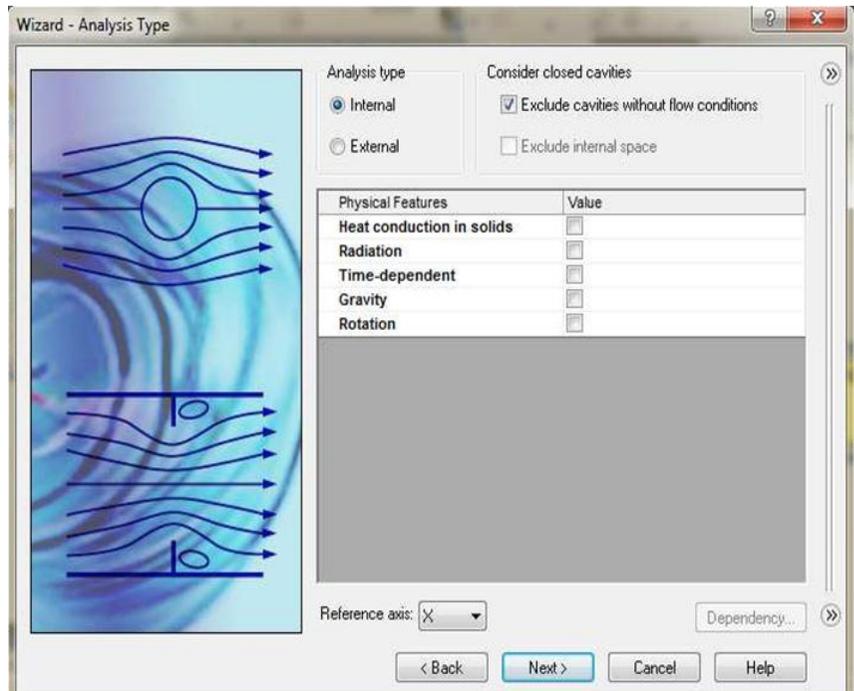


Gambar 4.3 Modeling Kompressor Linear-sectional view

b. Menentukan kondisi fisik model

Hal yang perlu dilakukan selanjutnya adalah penentuan kondisi fisik dari model yaitu penentuan model penyelesaian, fluida yang digunakan dalam pengujian.

Penentuan model penyelesaian dibagi menjadi dua yaitu model penyelesaian analisis tipe internal flow dan External flow dan dalam hal ini analisis internal flow merupakan pilihan yang tepat dalam menganalisa aliran dalam saluran masuk ruang bakar. Dibawah ini adalah tampilan dialog box untuk memilih jenis analisis untuk menentukan model penyelesaian.

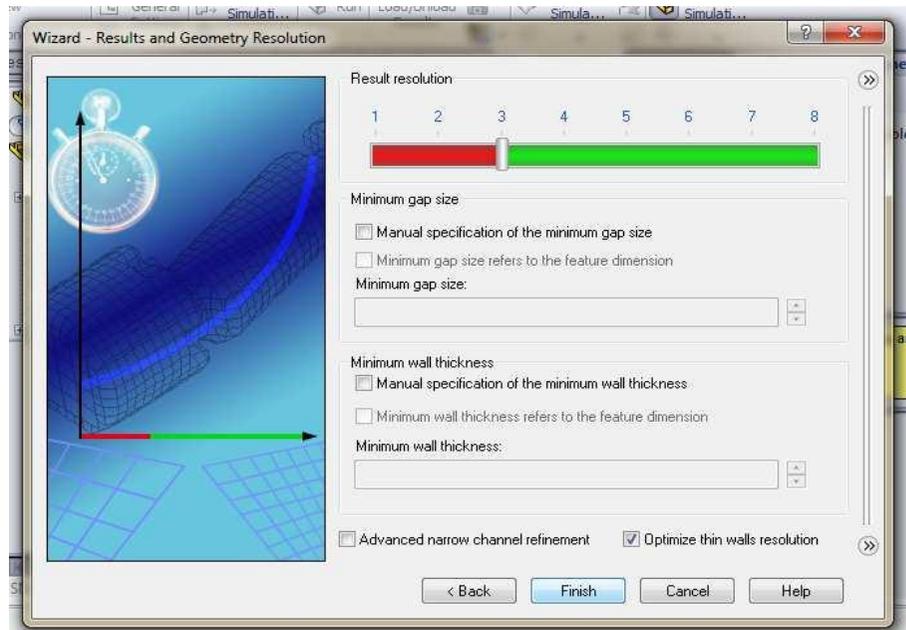


Gambar 4.4 dialog box untuk memilih jenis analisis

c. Membuat mesh

Meshing merupakan proses dimana geometri secara keseluruhan dibagi-bagi dalam elemen-elemen kecil yang nantinya berperan sebagai kontrol surface atau volume data perhitungan. Hal ini terjadi berulang-ulang domain terpenuhi.

Dalam meshing elemen-elemen yang akan dipilih disesuaikan dengan kebutuhan dan bentuk geometri.



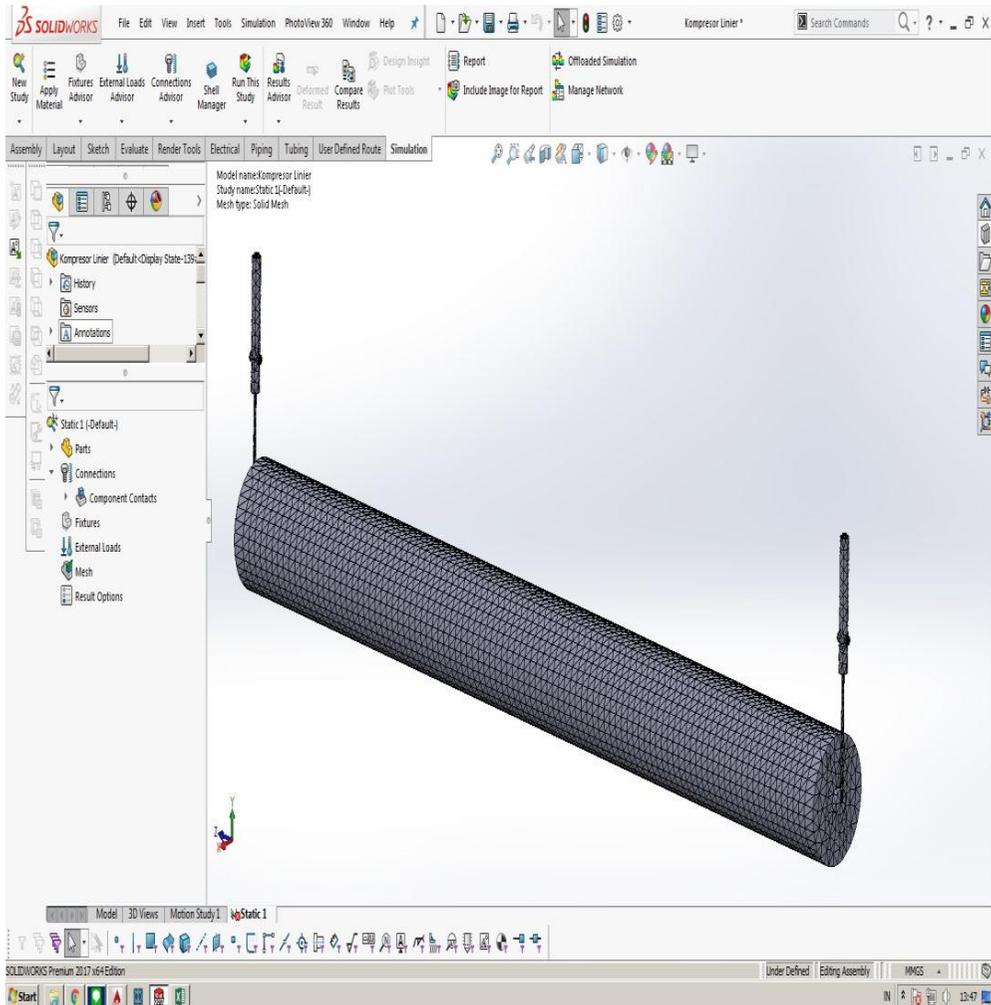
Gambar 4.5 dialog box untuk menentukan mesh

d. Menentukan boundary condition

Boundary condition merupakan definisi dari zona-zona yang telah terdefinisi sebelumnya pada Result and Geometry Resolution. Boundary condition adalah tempat masuk dan keluarnya udara dari sistem perpipaan yang terdiri dari pressure, mass flow, volume flow dan velocity.

Metode CFD digunakan untuk menganalisa laju alir maupun aliran dari massa, tekanan, dan temperatur. Melalui analisa berbasis CFD, karakteristik yang sekiranya dapat menjadi goal antara lain:

- a. Pola tekanan udara pada saluran udara kedalam ruang bakar
- b. Pola kecepatan aliran yang terjadi pada saluran udara kedalam ruang bakar.



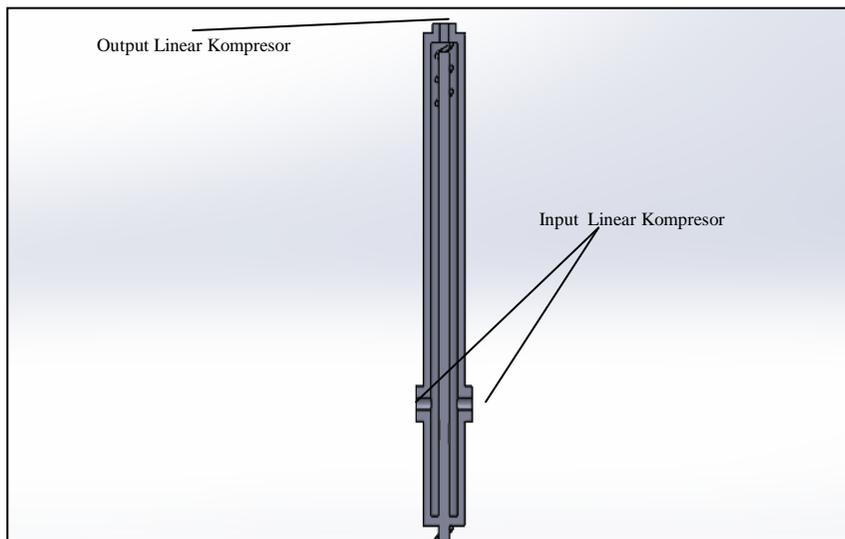
Gambar 4.3 Proses Meshing Kompresor Linear

Proses meshing dilakukan terhadap geometri model yang akan dianalisa. Semakin kecilnya ukuran partikel dalam meshing maka hasil yang didapat akan semakin presisi.

Berdasarkan data pengujian maka, didapat boundary condition sebagai input data pada simulasi CFD, untuk menganalisa aliran udara bertekanan dalam ruang kompresi pada linear kompresor.



Gambar 4.3 Cross Section Kompresor Linear



Gambar 4.4 Pemodelan Kompresor Linear

Sesuai dengan metodologi yang telah dirancang sebelumnya, dijelaskan bahwa pada tahap awal pengerjaan penelitian harus dilakukan identifikasi terhadap parameter-parameter yang akan dijadikan sebagai acuan terhadap penelitian. Adapun parameter yang digunakan pada penelitian ini baik pada tahap permodelan adalah sebagai berikut:

1. Parameter dimensi silinder oscilating antara lain:
 - a. Panjang = 4 m
 - b. Diamater = 0,1 m

2. Parameter gaya angkat silinder oscilating

No	Pemodelan	Kecepatan Fluida (m/s)	Gaya Angkat dari Numeca (N)
1	Model I	0,5	219,00
		0,75	215,40
		1,00	213,70
2	Model II	0,5	307,30
		0,75	333,50
		1,00	399,60
3	Model III	0,5	517,20
		0,75	374,50
		1,00	503,80

(Bayu,2012)

3. Parameter lingkungan

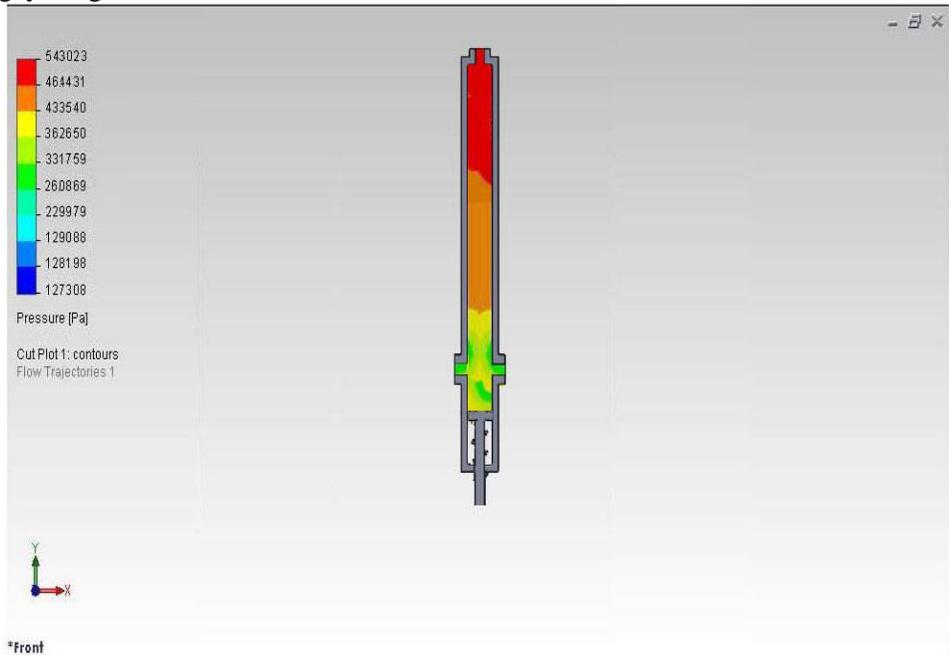
- a. Kecepatan udara normal = 3 m/s
- b. Tekanan udara normal = 1 bar
- c. Suhu Lingkungan = 40 C

Setelah dilakukan perhitungan balik secara manual terhadap kompresi udara yang dihasilkan dan dilakukan perbandingan dengan hasil simulasi, gaya angkat oscilating silinder dan kecepatan fluida yang bekerja pada simulasi kompresor linier Sedangkan selisih perbandingan nilai yang didapatkan dari hasil simulasi dengan perhitungan manual

Simulasi dilakukan berdasarkan varian data antara kecepatan fluida dengan gaya angkat yang bekerja pada linear kompresor. Adapun hasil simulasi sebagai berikut:

A. Variasi I

Variasi I pada model I yaitu menggunakan input parameter data dimana keadaan silinder oscilating dilewati fluida dengan kecepatan 0.50 (m/s) dan gaya angkat sebesar 219.0 N.

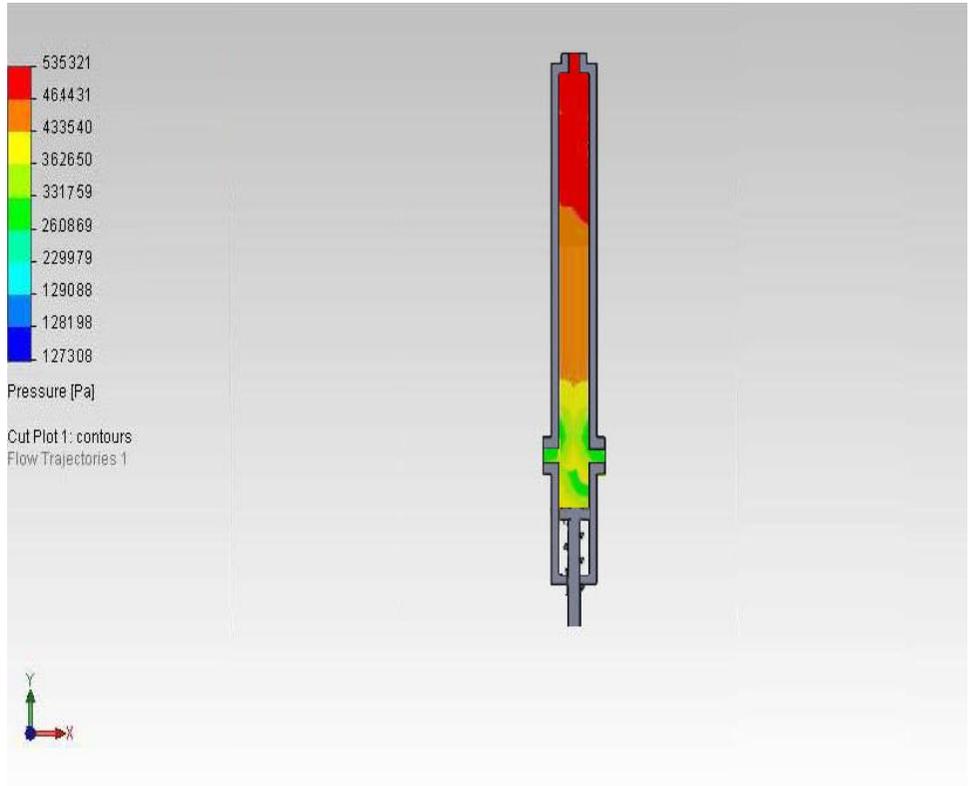


Gambar 4.5 Simulasi tekanan udara pada model I variasi I
Tabel 4.2 Hasil simulasi variasi I dengan solidworks

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	224259	224259	218528	229990
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	543023	543023	533282	535321
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	224259	224259	218528	229990
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	543023	543023	533282	535321
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	3.0	3.0	3.0	3.0

B. Variasi II

Variasi II pada model I yaitu menggunakan input parameter data dimana keadaan silinder oscilating dilewati fluida dengan kecepatan 0.75 (m/s) dan gaya angkat sebesar 215.4 N.



Gambar 4.6 Simulasi tekanan udara pada model I variasi II

Tabel 4.3 Hasil simulasi variasi II dengan solidworks

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	224259	224259	218528	229990
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	535321	535321	530865	532346
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	224259	224259	218528	229990
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	535321	535321	530865	532346
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	3.00	3.00	3.00	3.00

C. Variasi III

Variasi III pada model I yaitu menggunakan input parameter data dimana keadaan silinder oscilating dilewati fluida dengan kecepatan 1.00 (m/s) dan gaya angkat sebesar 213.7 N.

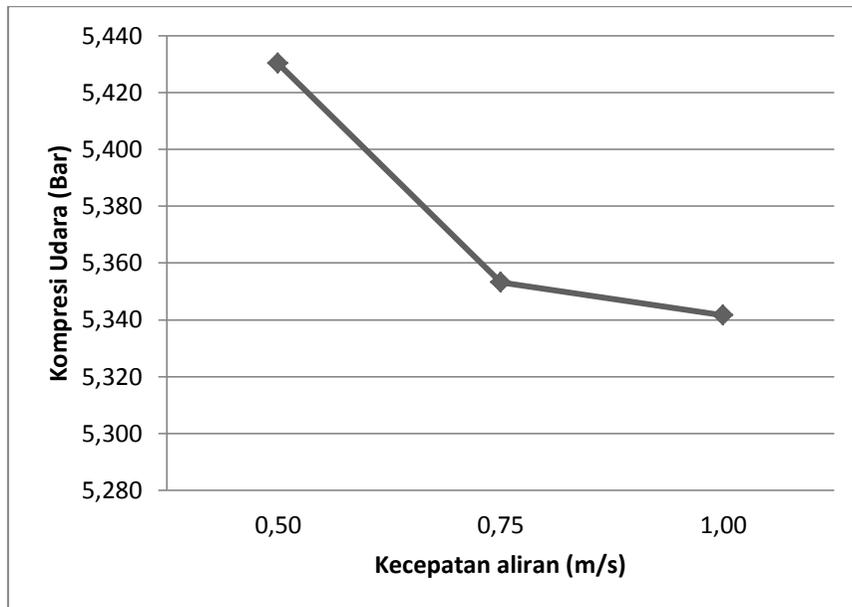


Gambar 4.7 Simulasi tekanan udara pada model I variasi III

Tabel 4.4 Hasil simulasi variasi III dengan solidworks

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	224259	224259	218528	229990
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	534154	534154	530811	538347
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	224259	224259	218528	229990
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	534154	534154	530811	538347
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	3.00	3.00	3.00	3.00

Hasil simulasi model I dengan tiga variasi kecepatan awal dapat dilihat pada grafik 4.1 hubungan antara kecepatan aliran dengan kompresi udara yang dihasilkan.



Grafik 4.1 Kompresi udara yang dihasilkan model I pada kecepatan 0.5 m/s , 0.75 m/s dan 1 m/s.

Setelah dilakukan perhitungan balik secara manual terhadap kompresi udara yang dihasilkan dan dilakukan perbandingan dengan hasil simulasi. Maka didapat hasil perhitungan yang disusun pada tabel 4.2 sebagai berikut.

Tabel 4.2 Data Hasil perhitungan dan perbandingan Model I

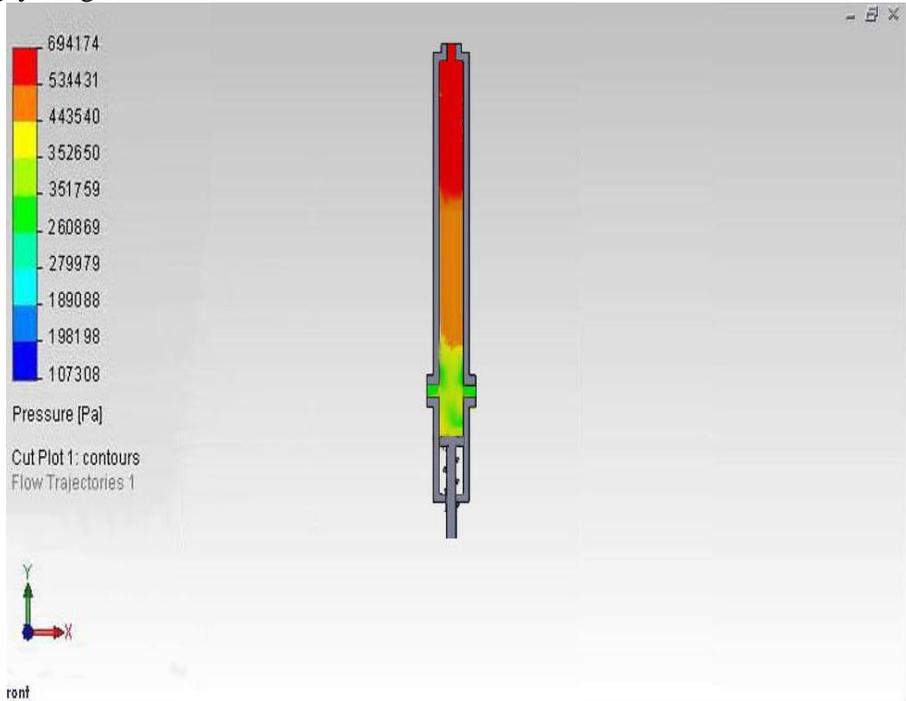
Simulasi	Gaya Angkat (N)	Kecepatan Aliran (m/s)	Hasil Simulasi (Pa)	Hasil Perhitungan (Pa)	Prosentase (%)
Model I	219,0	0,50	543023	512588,72	5,937
	215,4	0,75	535321	504553,37	6,098
	213,7	1,00	534154	500758,90	6,669

Dari tabel diatas diketahui bahwa untuk model I dengan variasi tiga kecepatan yang berbeda menghasilkan nilai kompresi udara yang berbeda pula. Untuk simulasi kecepatan awal aliran 0.5 m/s menghasilkan nilai kompresi udara sebesar 543023 Pa, untuk simulasi model I dengan kecepatan awal 0.75 m/s menghasilkan nilai kompresi udara sebesar 535321 Pa dan untuk model I dengan kecepatan awal 1 m/s menghasilkan nilai kompresi udara sebesar 534154 Pa. Sedangkan selisih perbandingan nilai yang didapatkan dari hasil simulasi dengan perhitungan manual pada model I dengan

kecepatan aliran 0.5 m/s sebesar +5,937%; sedangkan pada kecepatan 0.75 m/s sebesar +6,098 dan pada kecepatan 1,00 m/s sebesar +6,669%.

D. Variasi IV

Variasi IV pada model II yaitu menggunakan input parameter data dimana keadaan silinder oscilating dilewati fluida dengan kecepatan 0.50 (m/s) dan gaya angkat sebesar 307.30 N.



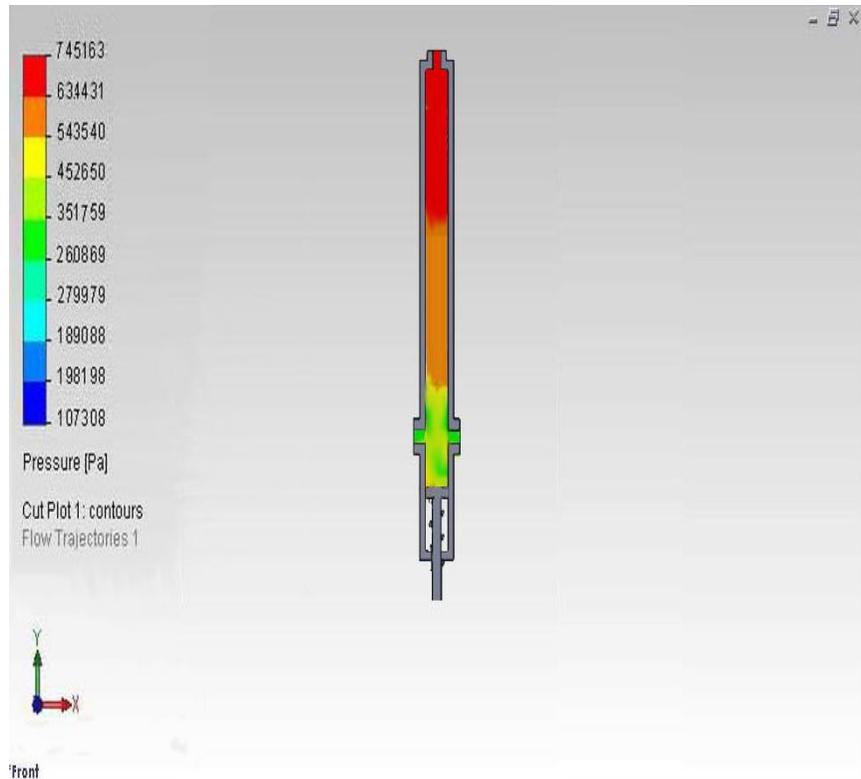
Gambar 4.8 Simulasi tekanan udara pada model II variasi IV

Tabel 4.2 Hasil simulasi variasi IV dengan solidworks

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	224259	224259	218528	229990
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	694174	694174	683282	701988
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	224259	224259	218528	229990
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	694174	694174	683282	701988
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	3.0	3.0	3.0	3.0

E. Variasi V

Variasi V pada model II yaitu menggunakan input parameter data dimana keadaan silinder oscilating dilewati fluida dengan kecepatan 0.75 (m/s) dan gaya angkat sebesar 333.50 N.



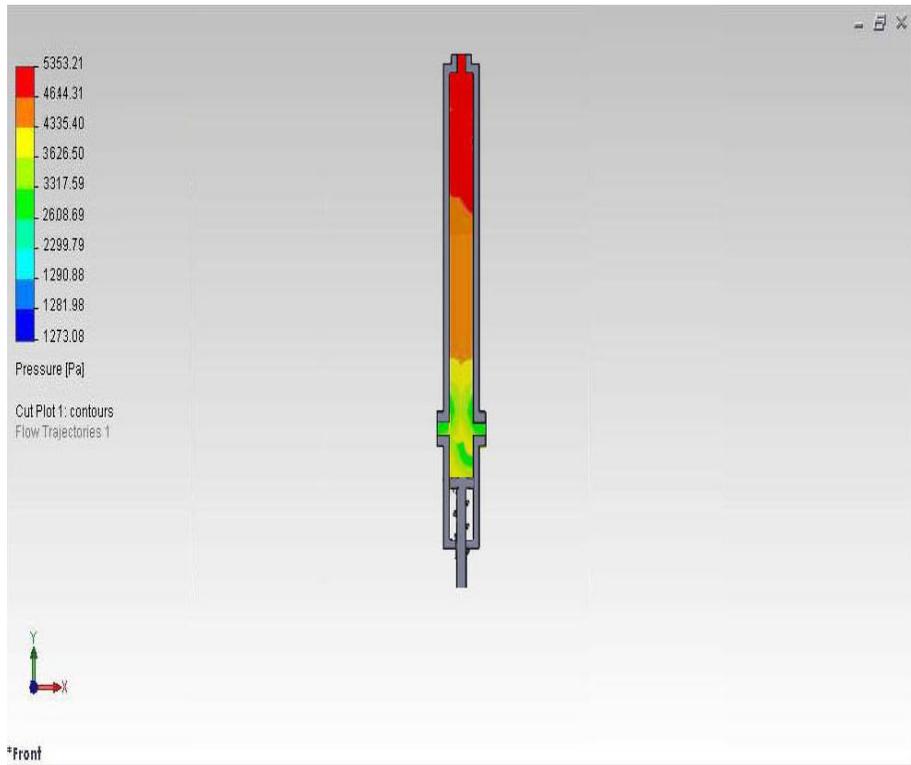
Gambar 4.9 Simulasi tekanan udara pada model II variasi V

Tabel 4.2 Hasil simulasi variasi V dengan solidworks

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	224259	224259	218528	229990
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	745163	745163	723282	763538
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	224259	224259	218528	229990
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	745163	745163	723282	763538
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	3.0	3.0	3.0	3.0

F. Variasi VI

Variasi VI pada model II yaitu menggunakan input parameter data dimana keadaan silinder oscilating dilewati fluida dengan kecepatan 1.00 (m/s) dan gaya angkat sebesar 399.60 N.

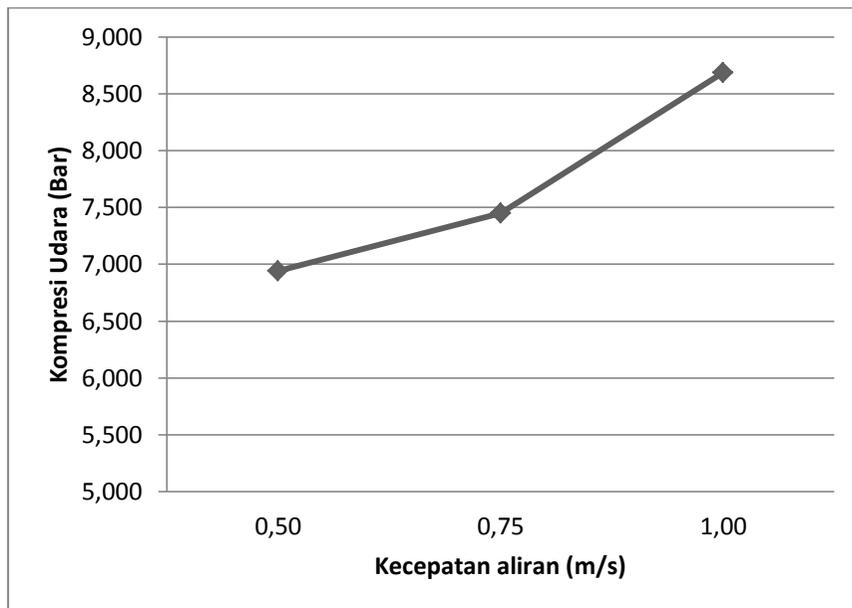


Gambar 4.10 Simulasi tekanan udara pada model II variasi VI

Tabel 4.2 Hasil simulasi variasi VI dengan solidworks

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	224259	224259	218528	229990
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	868951	868951	852854	879947
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	224259	224259	218528	229990
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	868951	868951	852854	879947
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	3.0	3.0	3.0	3.0

Hasil simulasi model II dengan tiga variasi kecepatan awal dapat dilihat pada grafik 4.2 hubungan antara kecepatan aliran dengan kompresi udara yang dihasilkan.



Grafik 4.2 Kompresi udara yang dihasilkan model II pada kecepatan 0.5 m/s , 0.75 m/s dan 1 m/s.

Setelah dilakukan perhitungan balik secara manual terhadap kompresi udara yang dihasilkan dan dilakukan perbandingan dengan hasil simulasi. Maka didapat hasil perhitungan yang disusun pada tabel 4.3 sebagai berikut.

Tabel 4.3 Data Hasil perhitungan dan perbandingan Model II

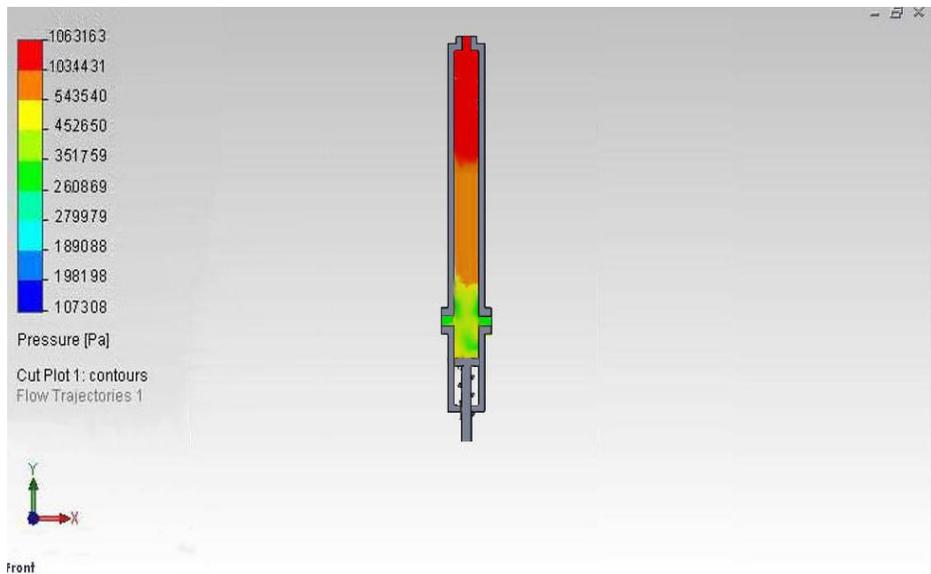
Simulasi	Gaya Angkat (N)	Kecepatan Aliran	Hasil Simulasi (Pa)	Hasil Perhitungan (Pa)	Prosentase (%)
Model II	307,3	0,50	694174	709678,14	-2,185
	333,5	0,75	745163	768157,67	-2,993
	399,6	1,00	868951	915695,73	-5,105

Dari tabel diatas diketahui bahwa untuk model II dengan variasi tiga kecepatan yang berbeda menghasilkan nilai kompresi udara yang berbeda pula. Untuk simulasi kecepatan awal aliran 0.5 m/s menghasilkan nilai kompresi udara sebesar 694174 Pa, untuk simulasi model I dengan kecepatan awal 0.75 m/s menghasilkan nilai kompresi udara sebesar 745163 Pa dan untuk model I dengan kecepatan awal 1 m/s

menghasilkan nilai kompresi udara sebesar 868951 Pa. Sedangkan selisih perbandingan nilai yang didapatkan dari hasil simulasi dengan perhitungan manual pada model II dengan kecepatan aliran 0.5 m/s sebesar -2,185%; sedangkan pada kecepatan 0.75 m/s sebesar -2,993% dan pada kecepatan 1,00 m/s sebesar -5,105%.

G. Variasi VII

Variasi VII pada model III yaitu menggunakan input parameter data dimana keadaan silinder oscilating dilewati fluida dengan kecepatan 0.50 (m/s) dan gaya angkat sebesar 517.20 N.



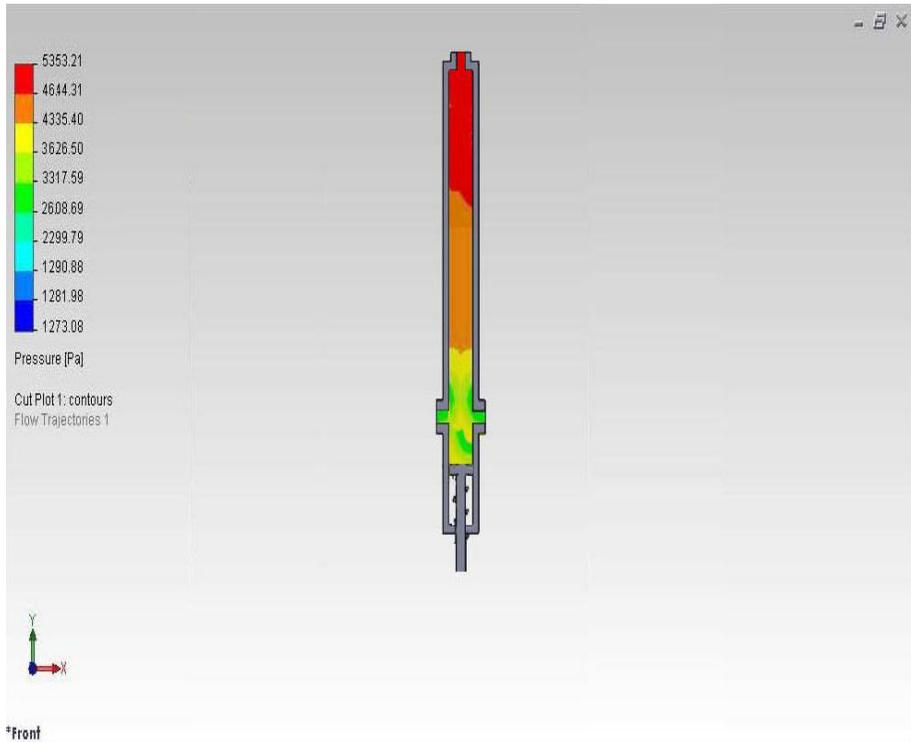
Gambar 4.11 Simulasi tekanan udara pada model III variasi VII

Tabel 4.2 Hasil simulasi variasi VII dengan solidworks

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	224259	224259	218528	229990
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	1063163	1063163	1002373	1123426
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	224259	224259	218528	229990
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	1063163	1063163	1002373	1123426
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	3.0	3.0	3.0	3.0

H. Variasi VIII

Variasi VIII pada model III yaitu menggunakan input parameter data dimana keadaan silinder oscilating dilewati fluida dengan kecepatan 0.75 (m/s) dan gaya angkat sebesar 374.50 N.



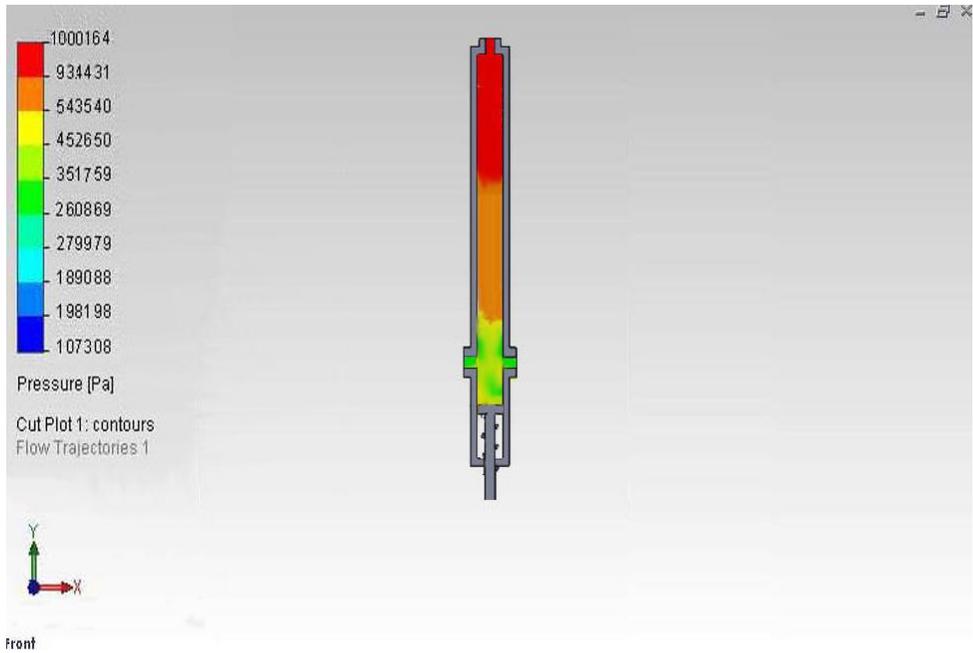
Gambar 4.12 Simulasi tekanan udara pada model III variasi VIII

Tabel 4.2 Hasil simulasi variasi VIII dengan solidworks

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	224259	224259	218528	229990
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	824703	824703	813281	835322
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	224259	224259	218528	229990
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	824703	824703	813281	835322
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	3.0	3.0	3.0	3.0

I. Variasi IX

Variasi IX pada model III yaitu menggunakan input parameter data dimana keadaan silinder oscilating dilewati fluida dengan kecepatan 1.00 (m/s) dan gaya angkat sebesar 503.80 N.



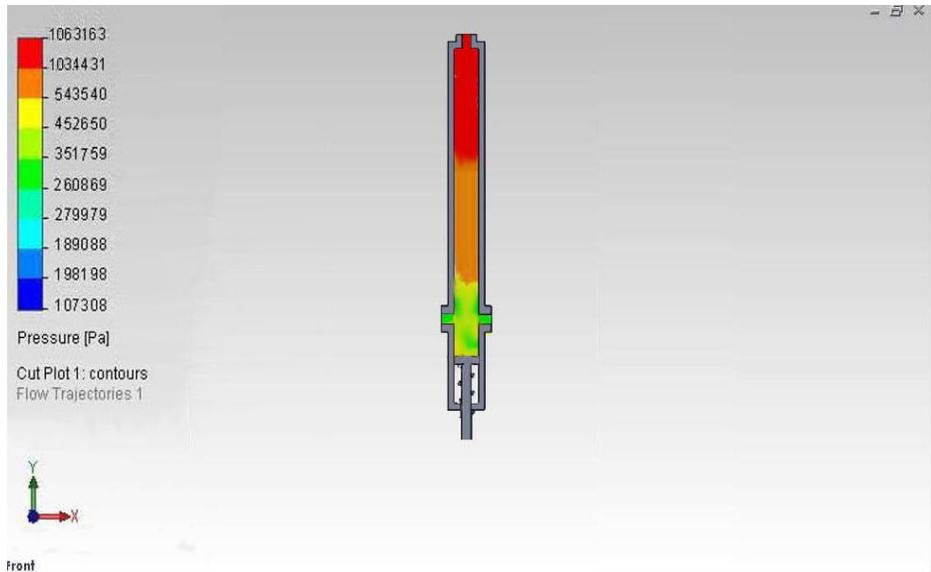
Gambar 4.13 Simulasi tekanan udara pada model III variasi IX

Tabel 4.2 Hasil simulasi variasi IX dengan solidworks

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	224259	224259	218528	229990
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	1050164	1050164	1024178	1086270
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	224259	224259	218528	229990
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	1050164	1050164	1024178	1086270
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	3.0	3.0	3.0	3.0

J. Variasi VII

Variasi VII pada model III yaitu menggunakan input parameter data dimana keadaan silinder oscilating dilewati fluida dengan kecepatan 0.50 (m/s) dan gaya angkat sebesar 517.20 N.



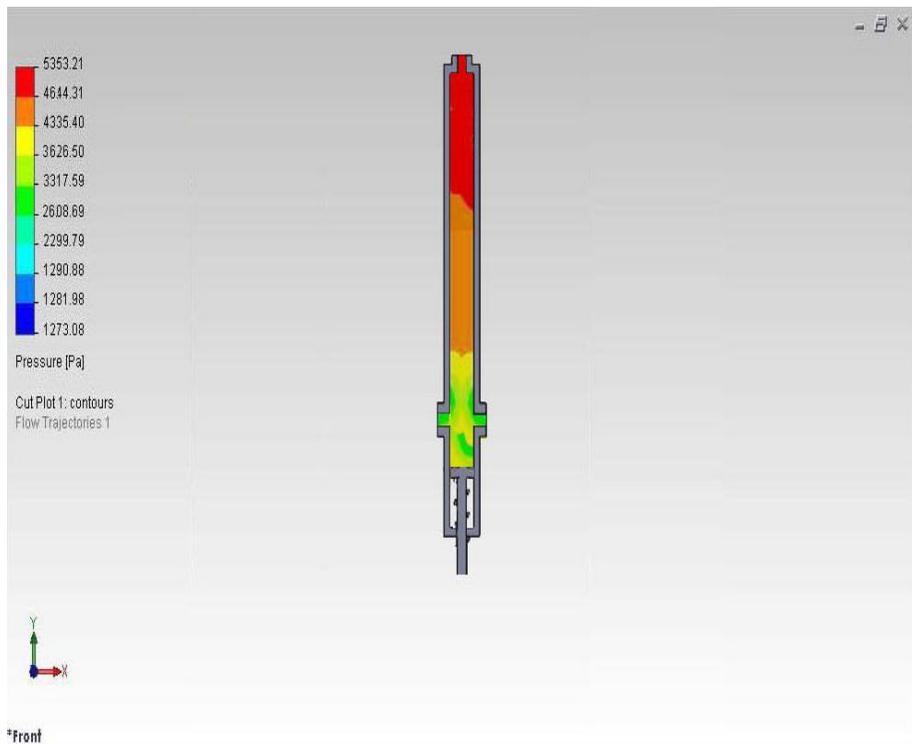
Gambar 4.11 Simulasi tekanan udara pada model III variasi VII

Tabel 4.2 Hasil simulasi variasi VII dengan solidworks

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	224259	224259	218528	229990
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	1063163	1063163	1002373	1123426
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	224259	224259	218528	229990
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	1063163	1063163	1002373	1123426
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	3.0	3.0	3.0	3.0

K. Variasi VIII

Variasi VIII pada model III yaitu menggunakan input parameter data dimana keadaan silinder oscilating dilewati fluida dengan kecepatan 0.75 (m/s) dan gaya angkat sebesar 374.50 N.



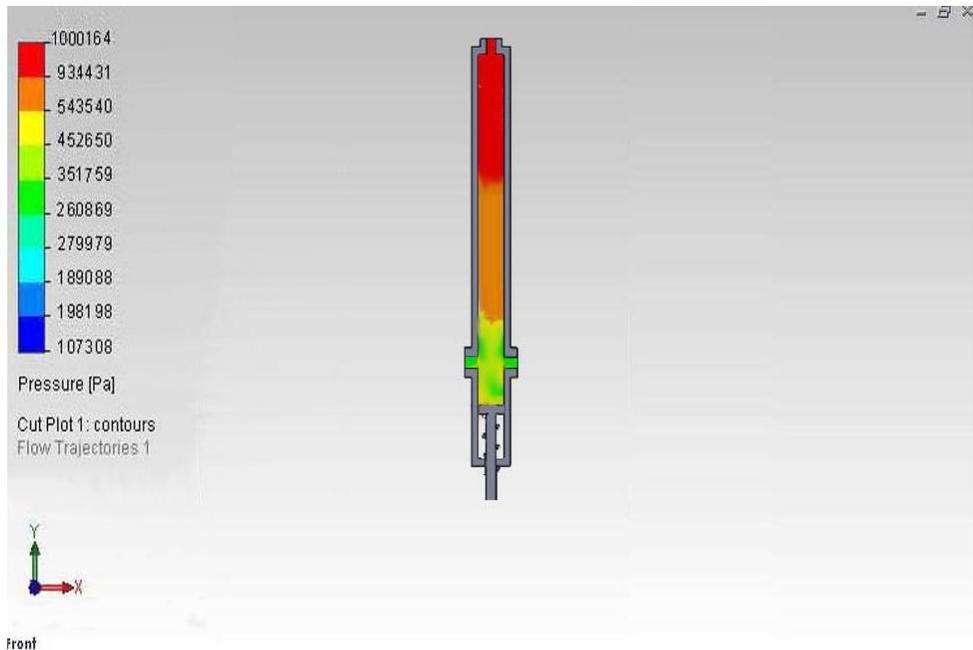
Gambar 4.12 Simulasi tekanan udara pada model III variasi VIII

Tabel 4.2 Hasil simulasi variasi VIII dengan solidworks

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	224259	224259	218528	229990
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	824703	824703	813281	835322
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	224259	224259	218528	229990
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	824703	824703	813281	835322
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	3.0	3.0	3.0	3.0

L. Variasi IX

Variasi IX pada model III yaitu menggunakan input parameter data dimana keadaan silinder oscilating dilewati fluida dengan kecepatan 1.00 (m/s) dan gaya angkat sebesar 503.80 N.

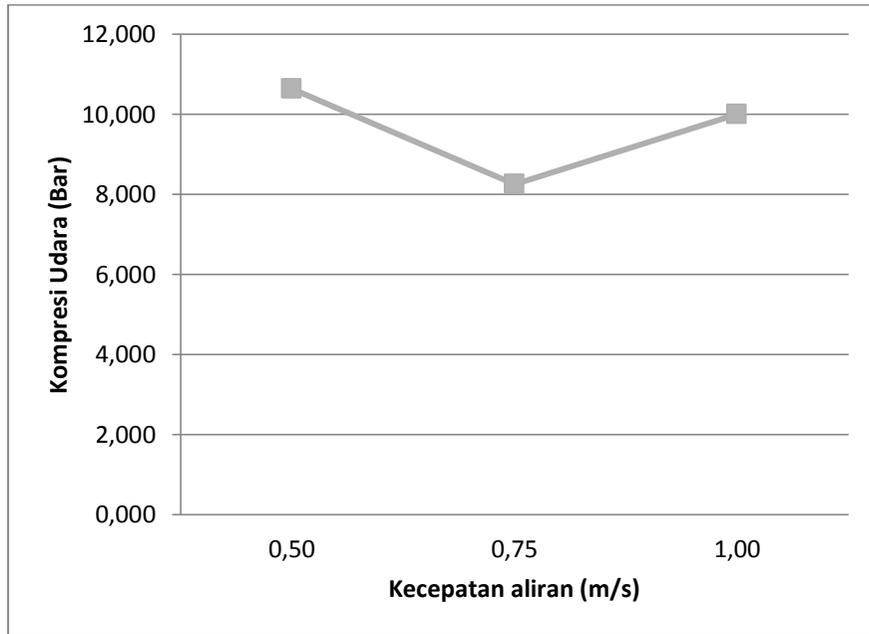


Gambar 4.13 Simulasi tekanan udara pada model III variasi IX

Tabel 4.2 Hasil simulasi variasi IX dengan solidworks

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value
SG Av Static Pressure 1 Inlet	[Pa]	224259	224259	218528	229990
SG Av Static Pressure 1 Outlet	[Pa]	1050164	1050164	1024178	1086270
SG Av Total Pressure 1 Inlet	[Pa]	224259	224259	218528	229990
SG Av Total Pressure 1 Outlet	[Pa]	1050164	1050164	1024178	1086270
SG Av Velocity 1 Inlet	[m/s]	3.0	3.0	3.0	3.0

Hasil simulasi model III dengan tiga variasi kecepatan awal dapat dilihat pada grafik 4.3 hubungan antara kecepatan aliran dengan kompresi udara yang dihasilkan.



Grafik 4.2 Kompresi udara yang dihasilkan model III pada kecepatan 0.5 m/s , 0.75 m/s dan 1 m/s.

Setelah dilakukan perhitungan balik secara manual terhadap kompresi udara yang dihasilkan dan dilakukan perbandingan dengan hasil simulasi. Maka didapat hasil perhitungan yang disusun pada tabel 4.4 sebagai berikut.

Tabel 4.4 Data Hasil perhitungan dan perbandingan Model III

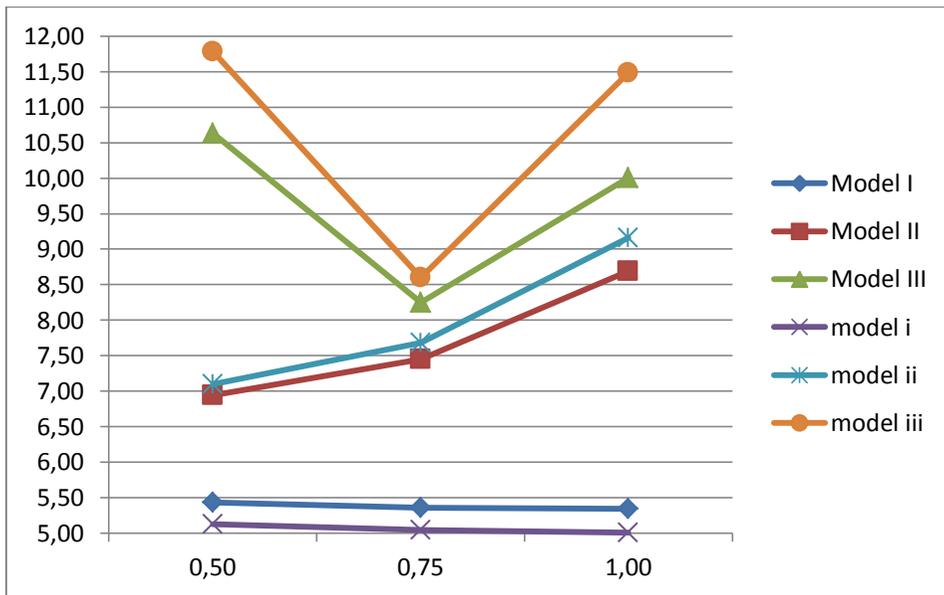
Simulasi	Gaya Angkat (N)	Kecepatan Aliran	Hasil Simulasi (Pa)	Hasil Perhitungan (Pa)	Prosentase (%)
Model III	517,2	0,50	1063163	1178184,01	-9,763
	374,5	0,75	824703	859671,44	-4,068
	503,8	1,00	1000184	1148274,63	-12,897

Dari tabel diatas diketahui bahwa untuk model III dengan variasi tiga kecepatan yang berbeda menghasilkan nilai kompresi udara yang berbeda pula. Untuk simulasi kecepatan awal aliran 0.5 m/s menghasilkan nilai kompresi udara sebesar 1063163 Pa, untuk simulasi model III dengan kecepatan awal 0.75 m/s menghasilkan nilai kompresi udara sebesar 824703Pa dan untuk model III dengan kecepatan awal 1 m/s

menghasilkan nilai kompresi udara sebesar 1000184 Pa. Sedangkan selisih perbandingan nilai yang didapatkan dari hasil simulasi dengan perhitungan manual pada model III dengan kecepatan aliran 0.5 m/s sebesar -9,763%; sedangkan pada kecepatan 0.75 m/s sebesar --4,068% dan pada kecepatan 1,00 m/s sebesar -12,897%

4.4 Analisa hasil tekanan pada semua model

Pada akhirnya akan diperoleh resultan dari nilai kompresi udara maksimal yang telah diperoleh dari masing – masing model. Dari ke-3 model tersebut hasilnya dapat dilihat pada grafik 4.4 dimana pada grafik tersebut model II merupakan model yang memiliki nilai kompresi yang relatif stabil yaitu pada kisaran 7,1-8,6 bar, artinya terdapat kenaikan nilai terhadap tiap-tiap kecepatan awalnya. pada model I nilai yang dihasilkan relatif kecil jika dibandingkan dengan model II walaupun tingkan perbandingan prosentasinya surplus. Sedangkan pada model III nilai yang dihasilkan relatif besar tetapi cenderung tidak stabil hal ini dapat dilihat pada kecepatan aliran 0,75 m/s nilai kompresi udara menurun drastis, adapun besarnya prosentase relatif besar diatas -5%.



Grafik 4.14 Kompresi udara pada masing – masing model

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya maka dapat diambil beberapa kesimpulan dan saran sebagai berikut:

5.1 Kesimpulan

1. Model II merupakan model yang memiliki nilai kompresi yang relatif stabil yaitu pada kisaran 7,1-8,6 bar, artinya terdapat kenaikan nilai terhadap tiap-tiap kecepatan awalnya. pada model I nilai yang dihasilkan relatif kecil jika dibandingkan dengan model II walaupun tingkan perbandingan prosentasinya surplus. Sedangkan pada model III nilai yang dihasilkan relatif besar tetapi cenderung tidak stabil hal ini dapat dilihat pada kecepatan aliran 0,75 m/s nilai kompresi udara menurun drastis, adapun besarnya prosentase relatif besar diatas -5%.
2. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa semakin besar udara brtekanan yang dihasilkan maka selisih perbandingan prosentasenya semakin besar.

5.2 Saran

1. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal perlu adanya uji fisik terhadap model sesuai dimensi yang digunakan terhadap penelitian ini.
2. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan menentukan analisa material dari kompresor linear berikut efisiensi volume udara bertekanan yang dihasilkan.

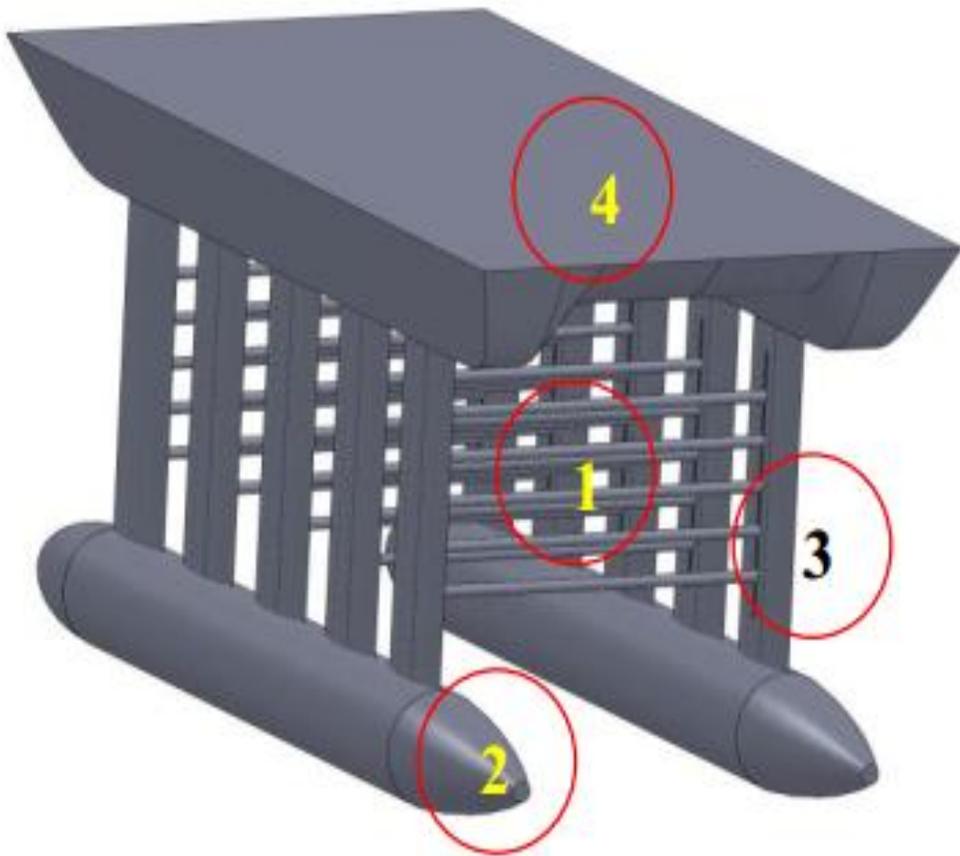
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

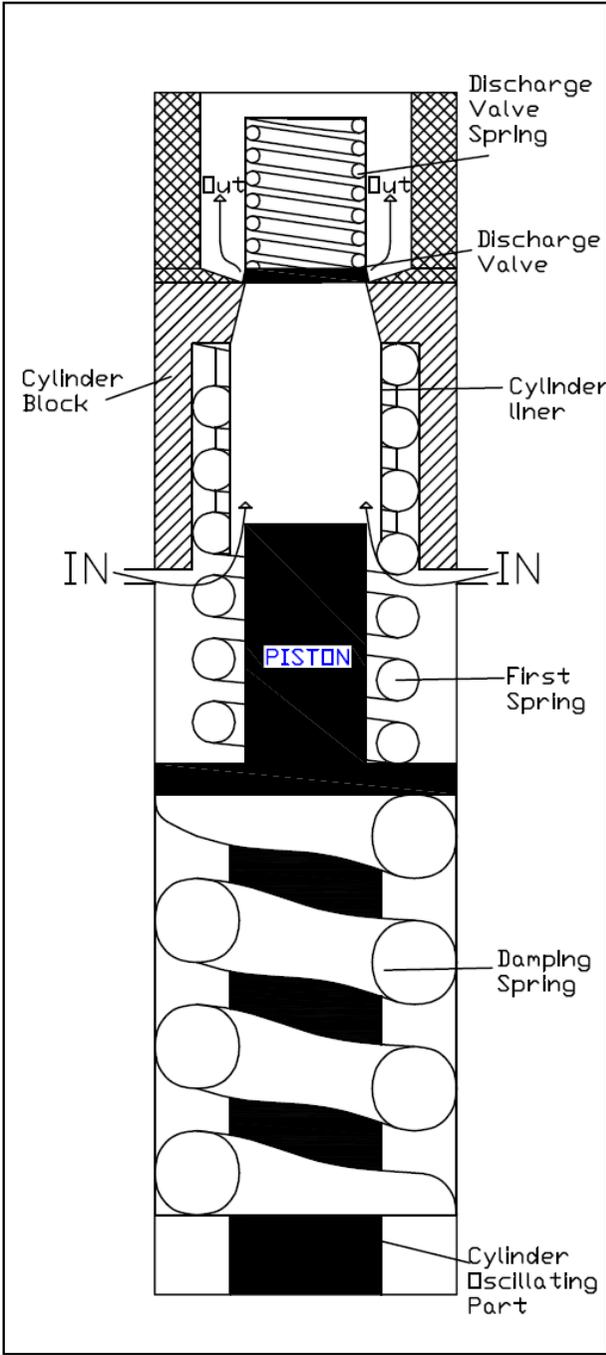
- [1] Departemen ESDM, Departemen ESDM Paparkan Penerapan DSM Untuk Mengurangi Emisi CO₂ dan GRK Dalam DNPI. 19 Desember 2008. <http://www.esdm.go.id/berita/37-umum/2180-departemen-esdm-paparkan-penerapan-dsm-untuk-mengurangi-emisi-co2-dan-grk-dalam-dnpi.html>
- [2] The European Wind Energy Association, Analysis of Win Energy in the EU-25. Wind Energy-The Facts. 2011.
- [3] Observ'ER. The state of renewable energies in europe. Paris : EuroObserv'ER Report, 2016.
- [4] Bernitsas, M. Michael. (2006). *The Vivace Converter: Model Tests At High Damping And Reynolds Number Around 105*. Naval Architecture and Marine Engineering in The University of Michigan. Michigan.
- [5] Bayu, A. (2012). *Kajian Teknis Fenomena Getaran Vorteks pada Variasi Jumlah Oscillating Parts Pembangkit Listrik Tenaga Arus Air Laut*. Jurnal Tugas Akhir Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [6] Sevekari, M. (2013). *Modeling and Analysis Linear Compressor*. International Journal of Mechanical Engineering and Computer Applications.
- [7] Mursyid, A. (2012). *Analisis Unjuk Kerja Kompressor Sentrifugal Pada Turbin Gas Mikro Proto X-2*. Jurnal Skripsi Universitas Indonesia. Jakarta.
- [8] Bradshaw, R. Craig., and Groll, A., (2010), *A Comprehensive Model of Miniature-Scale Linear Compressor for Electrical Cooling*. International Compressor Engineering Conference. Purdue University.
- [9] Al Antoni Akhmad. (2009). *Perancangan Simulasi Sistem Pergerakan Dengan Pengendalian Pneumatis Untuk Mesin Pengamplas Kayu Otomatis*. Jurnal Jurusan Teknik Mesin. Universitas Sriwijaya.
- [10] Soelarso. (1998), *Pompa dan Kompresor*. Bandung.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN
DESAIN PERANCANGAN LINEAR COMPRESSOR



**Pada gambar desain
*Portable Induced
Vibration*, Lokasi Linear
Compressor terletak
pada nomor 3.**



BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Lamongan, pada tanggal 29 Juli 1993 dengan nama Muhammad Iqbal dan merupakan anak pertama dari pasangan Imam Supardi dan Ning Mastik. Penulis menempuh jenjang mulai dari MI Murni Sunan Drajat Lamongan , SMP Negeri 1 Lamongan, dan SMA Negeri 2 Lamongan. Setelah lulus dari bangku Sekolah Menengah Atas (SMA), penulis diterima di Prodi Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya pada tahun 2011. Setelah lulus D3 penulis melanjutkan S1 diterima di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui Lintas Jalus pada tahun 2016. Selama menempuh masa studi, penulis aktif di berbagai kegiatan dan organisasi. Penulis aktif organisasi Pondok Pesantren Darul Mustaghtsin Lamongan.