



TUGAS AKHIR - TM184835

**SIMULASI DAN ANALISA REDUKSI RESPON GETARAN
TRANSVERSAL PADA SISTEM UTAMA
(PIPA *ELBOW* 90°) OLEH MEKANISME *DYNAMIC
VIBRATION ABSORBER* (DVA) MODEL *BEAM* AKIBAT
PENGARUH POSISI PELETAKAN DVA**

LUCIA DARMASARI MUSRININGTIAS

NRP. 0211154000003

Dosen Pembimbing

Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2020



TUGAS AKHIR - TM184835

**SIMULASI DAN ANALISA REDUKSI RESPON
GETARAN TRANSVERSAL PADA SISTEM UTAMA
(PIPA *ELBOW* 90°) OLEH MEKANISME *DYNAMIC
VIBRATION ABSORBER* (DVA) MODEL *BEAM*
AKIBAT PENGARUH POSISI PELETAKAN DVA**

LUCIA DARMASARI MUSRININGTIAS
NRP. 0211154000003

Dosen Pembimbing
Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA, 2020



FINAL PROJECT - TM184835

***SIMULATION AND ANALYSIS OF TRANSVERSAL
VIBRATION RESPONSE REDUCTION ON MAIN
SYSTEM (ELBOW PIPE 90°) BY DYNAMIC
VIBRATION ABSORBER (DVA) MECHANISM BEAMS
MODEL DUE TO INFLUENCE OF POSITION DVA***

**LUCIA DARMASARI MUSRININGTIAS
NRP. 0211154000003**

Advisory Lecturer
Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

**UNDERGRADUATE PROGRAM
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND SYSTEMS
ENGINEERING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA, 2020**

**SIMULASI DAN ANALISA REDUKSI RESPON GETARAN
TRANSVERSAL PADA SISTEM UTAMA (PIPA ELBOW
90°) OLEH MEKANISME DYNAMIC VIBRATION
ABSORBER (DVA) MODEL BEAM AKIBAT PENGARUH
POSISI PELETAKAN DVA**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
Memperoleh gelar sarjana teknik
Program studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Lucia Darmasari Musriningtias

NRP. 0211154000003

Disetujui oleh Pembimbing Proposal Tugas Akhir:

1. Dr. Wiwiek Hendriyati, S.T., M.T. (Pembimbing)
NIP. 197004021997032003
1. Dr. Eng. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng. (Penguji I)
NIP. 197505111999034001
2. Aida Annisa Amin Darmasari, S.T., M.T. (Penguji II)
NIP. 198907052015042005
3. Ir. Julendra B. Ariatedja, S.T., M.T. (Penguji III)
NIP. 196807061999031004

**SURABAYA
JANUARI, 2020**

ABSTRAK

**SIMULASI DAN ANALISA REDUKSI RESPON GETARAN
TRANSVERSAL PADA SISTEM UTAMA (PIPA *ELBOW*
90°) OLEH MEKANISME *DYNAMIC VIBRATION*
ABSORBER (DVA) MODEL *BEAM* AKIBAT PENGARUH
POSISI PELETAKAN DVA**

Nama Mahasiswa : Lucia Darmasari Musriningtias
NRP : 0211154000003
Departemen : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing: Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.
Laboratorium : Vibrasi dan Sistem Dinamis

ABSTRAK

Sistem perpipaan sangat penting dalam dunia industri yaitu untuk mengalirkan fluida antara satu plant ke plant lainya. Sambungan (*fitting*) merupakan bagian dari suatu instalasi perpipaan yang berfungsi sebagai penyambung antar pipa dan sebagai akhir perpipaan atau *outlet fitting*. Pada pipa *elbow* terjadi penurunan tekanan (*pressure drop*) yang lebih besar jika dibandingkan dengan penurunan tekanan (*pressure drop*) pada aliran di dalam pipa lurus dengan panjang yang sama. Apabila penurunan tekanan terlalu besar dapat mengakibatkan getaran pada sistem perpipaan. Apabila getaran ini berlebihan dan tidak dipertimbangkan dalam sistem perpipaan maka dapat menyebabkan resonansi yang sama dengan frekuensi alami dari pipa sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada sistem perpipaan. Salah satu cara untuk mengurangi getaran berlebihan adalah dengan menggunakan *Dynamic vibration absorber* (DVA). Prinsip kerja dari DVA adalah dengan penambahan massa dan pegas pada sistem utama yang dapat mereduksi respon getaran pada sistem utama.

Pada tugas akhir ini, dilakukan analisa reduksi getaran dengan menggunakan DVA pada pipa *elbow* 90° dengan suatu simulator getaran dalam skala laboratorium. Analisa ini dilakukan dengan mensimulasikan sistem terkait menggunakan software

matlab simulink. DVA yang digunakan berupa *ring mass-rubber beam-clamp*, dimana dapat meredam getaran pada sistem utama ke arah translasi sumbu x dan y. Untuk mengetahui respon getaran sistem utama, dilakukan variasi kecepatan fluida yang mengacu pada nilai Re yaitu sebesar 12188 sehingga nilai kecepatan fluida nya sebesar 0.3 m/s, nilai Re 20312 sehingga nilai kecepatan fluida nya sebesar 0.5 m/s dan nilai Re 28437 sehingga nilai kecepatan fluida nya sebesar 0.7 m/s, dimana ketiga nilai Re tersebut merupakan aliran *turbulent*. Dengan frekuensi operasi yang sama dengan frekuensi natural sistem utama yaitu sebesar 276.64 rad/s. Untuk mengetahui reduksi getaran sistem utama, dilakukan variasi peredaman menggunakan posisi peletakan DVA di *input*, *bend* dan *output* dari pipa *elbow* 90° dan variasi rasio massa DVA terhadap sistem utama sebesar 1/10, 1/20 dan 1/30.

Hasil dari tugas akhir ini didapatkan respon getaran sistem utama paling besar ketika nilai Re 28437 yaitu pada saat kecepatan fluida 0.7 m/s. Pada saat variasi rasio massa DVA, didapatkan bahwa rasio massa DVA 1/10 mampu mereduksi getaran paling optimal yaitu sebesar 95,63% di *input* maupun di *output* dan 60,42% di *bend* baik sumbu y maupun sumbu x. Sedangkan pada saat variasi posisi peletakan DVA, didapatkan hasil reduksi yang relatif terhadap rasio massa DVA. Pada saat rasio massa DVA 1/10 redaman optimal terletak pada saat DVA diletakan *input* dan *output*. Pada saat DVA 1/20 dan 1/30 didapatkan peredaman optimal pada saat DVA terletak di *bend* baik arah sumbu y maupun arah sumbu x.

Kata Kunci: *Dynamic vibration absorber (DVA)*, Getaran, Massa DVA, Pipa *elbow* 90°, Posisi DVA, Reduksi getaran

ABSTRACT

***SIMULATION AND ANALYSIS OF TRANSVERSAL
VIBRATION RESPONSE REDUCTION ON MAIN SYSTEM
(ELBOW PIPE 90°) BY DYNAMIC VIBRATION ABSORBER
(DVA) MECHANISM BEAMS MODEL DUE TO
INFLUENCE OF POSITION DVA***

Student's Name : Lucia Darmasari Musriningtias
NRP : 0211154000003
Departement : Mechanical Engineering
Advisory Lecturer : Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.
Laboratory : Vibration and Dynamic Ssystem

ABSTRACT

The piping system is very important in the industrial world that is to drain the fluid between one plant to another. Fitting is part of a piping installation that acts as an intercompany connector and as the end of a piping or outlet fitting. At the pipe of the elbow is a greater pressure drop when compared to the pressure drop in the flow in the straight pipe of the same length. When too large the pressure drop may result in vibration of the piping system. When this vibration is excessive and is not considered in the piping system it will cause a resonance similar to the natural frequency of the pipeline so that it can cause damage to the piping system. One way to reduce excessive vibration is to use Dynamic vibration absorber (DVA). The working principle of DVA is with the addition of mass and spring in the main system that will reduce the vibration response that occurs in the main system.

In this final project, the vibration reduction analysis was performed using the DVA on the 90° elbow pipe with a vibration simulator in the laboratory scale. This analysis is done by simulating the related system using the matlab simulink software. DVA used in the form of mass-rubber beam-clamp ring, which can dampen vibration in the main system towards the translation of x and y axis. To find out the main system vibration response, a variation of fluid speed that refers to the Re value of 12188 so that the value of fluid speed is 0.3 m/s, the value of Re 20312 so that the

value of fluid speed of 0.5 m/s and the value Re 28437 so that the value of fluid speed of 0.7 m/s, where the third value Re is turbulent flow, with the same operating frequency with natural frequency of the main system is 276.64 rad/s. To know the main system vibration reduction, a variation of the immersion using the DVA laying position in the input, bend and output of the elbow pipe 90 ° and the variation of DVA mass ratio against the main system of 1/10, 1/20 and 1/30.

The result of this final task was obtained the most major system vibration response when the value of Re 28437, at the current fluid speed of 0.7 m/s. At the time of a variation of DVA mass ratio, it was obtained that the DVA 1/10 mass ratio was able to reduce the most optimal range of 95.63% in inputs and in output and 60.42% in the bend both the y axis and x axis. While the variation of the DVA placement position is obtained relative to the ratio of DVA mass. When the mass ratio of DVA 1/10 the optimal attenuation is located when the DVA is placed input and output. At the moment DVA 1/20 and 1/30 are obtained optimal isolation at the time the DVA is located in the bend both the direction of the y axis and the direction of x axis.

Keywords: Dynamic vibration absorber (DVA), vibration, DVA mass, elbow pipe 90 °, DVA position, Vibration reduction

KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT karena atas *ridho* dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Simulasi dan Analisa Reduksi Respon Getaran Transversal Pada Sistem utama (Pipa *Elbow* 90°) Oleh Mekanisme *Dynamic vibration absorber* (DVA) Model *Beam* Akibat Pengaruh Posisi Peletakan DVA”**. Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk memenuhi persyaratan kelulusan program Studi Strata I pada Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini banyak pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis, hingga akhirnya Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini, diantaranya:

1. Untuk orang tua penulis, Ibu Luluk Mahfulah, nenek dan kakek penulis Dayah dan Abdullah, yang selalu memberikan dukungan moril maupun material kepada penulis.
2. Ibu Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Harus Laksana Guntur, ST., M.Eng., Ibu Aida Annisa Amin Daman, ST., M.T., dan bapak Ir.Julendra B.Ariatedja.,S.T.,M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran untuk Tugas Akhir ini.
4. Sahabat penulis, Vivi, Delliansyah, Dewik, Dicky, Rina, Risma yang telah menemani penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Semua warga Laboratorium Vibrasi dan Sistem Dinamis: Salsabila, Aldisa, Fredi, Barel, Ammar, Gerald, Tamara,

Elicia, Iit, Devinda, dkk yang telah membantu proses pengerjaan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini jauh dari kata sempurna karena masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari pembaca agar dapat menjadi lebih baik untuk kedepannya. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat dan menjadi inspirasi bagi para pembaca.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem Perpipaan.....	5
2.2 Geometri <i>Elbow</i>	5
2.3 Sumber Eksitasi Berupa Fluida.....	7
2.3.1 Aliran Internal	7
2.3.2 Aliran Laminar, Transisi dan Turbulen.....	8
2.3.3 Aliran <i>Compressible</i> dan <i>Incompressible</i>	8
2.3.4 <i>Head loss</i>	9
2.4 Getaran	10

2.4.1	<i>Free vibration</i>	10
2.4.2	<i>Forced Vibration</i>	11
2.5	<i>Multi Degree of Freedom (MdoF)</i>	12
2.6	<i>Dynamic vibration absorber</i>	13
2.7	Penelitian Terdahulu	15
2.7.1	<i>Vibration Analysis of a Turbulent Fluid Passing Inside an Elbow Shaped Pipe Section</i>	15
2.7.2	<i>Optimum Design of Damped Dynamic vibration absorber a Simulation Approach</i>	17
2.7.3	<i>Finite Element Analysis and Experimental Study on Elbow Vibration Transmission Characteristics</i>	19
2.7.4	<i>Design and Validation of an Adjustabel Dynamic vibration absorber for Piping Vibration Suppression in Skid Mounted Compressor Unit</i>	22
2.7.5	<i>Experimental Study and Analysis of Flow Induced Vibration in a Pipeline</i>	24
BAB III METODOLOGI		27
3.1	Metodologi Penelitian.....	27
3.2	Metode Pengerjaan Penelitian.....	29
3.2.1	Studi Literatur	29
3.2.2	Identifikasi Masalah	29
3.2.3	Rancangan Sistem	29
3.2.4	Pemodelan Simulasi Aliran Dalam Pipa <i>Elbow</i>	34
3.2.5	Model Dinamis dan Persamaan Gerak	35

3.2.5.1 Model Dinamis dan Persamaan Gerak Sistem Utama (Pipa <i>Elbow</i>) Tanpa Penambahan DVA	35
3.2.5.2 Model Dinamis dan Persamaan Gerak Sistem Utama dengan Posisi Penambahan DVA berada di <i>Input</i> dari Sistem Utama (Pipa <i>Elbow</i>).....	39
3.2.5.3 Model Dinamis dan Persamaan Gerak Sistem Utama dengan Posisi Penambahan DVA berada di <i>Bend</i> dari Sistem Utama (Pipa <i>Elbow</i>).....	44
3.2.5.4 Model Dinamis dan Persamaan Gerak Sistem Utama dengan Posisi Penambahan DVA berada di <i>Output</i> dari Sistem Utama (Pipa <i>Elbow</i>).....	52
3.2.6 Penentuan Parameter Penelitian	58
3.2.6.1 Frekuensi Natural Sistem Utama	59
3.2.6.2 Massa	59
3.2.6.3 Konstanta Kekakuan	62
3.2.6.4 Variasi Kecepatan Fluida dan Posisi Peletakkan DVA.....	68
3.2.7 Pembuatan Blok Diagram	70
3.2.8 Simulasi.....	70
3.2.9 Reduksi Respon Getaran	71
3.2.10 Analisa Hasil	71
3.2.11 Kesimpulan.....	71
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	73
4.1 Simulasi Aliran di Dalam Pipa.....	73
4.1.1 Membuat Meshing Pipa.....	73
4.1.2 Simulasi <i>Ansys fluent</i>	74
4.1.3 Hasil Simulasi <i>Ansys fluent</i>	79

4.2 Pembuatan Blok Simulasi	85
4.2.1 Sistem Utama Tanpa DVA.....	86
4.2.2 Sistem Utama Dengan DVA	87
4.3 Pemodelan Simulasi	92
4.3.1 Pemodelan Simulasi Frekuensi Natural Tanpa DVA dan Dengan Menggunakan DVA	92
4.4 Analisa Respon	99
4.4.1 Analisa Respon Getaran Sistem Utama Tanpa DVA	99
4.4.2 Analisa Respon Getaran dengan Variasi Peletakan DVA	104
4.4.2.1 Posisi Peletakan DVA di <i>Input</i>	104
4.4.2.2 Posisi Peletakan DVA di <i>Bend</i>	107
4.4.2.3 Posisi Peletakan DVA di <i>Output</i>	114
4.4.3 Analisa Respon Getaran dengan Variasi Rasio Massa DVA	118
4.4.3.1 Posisi Peletakan DVA di <i>Input</i>	118
4.4.3.2 Posisi Peletakan DVA di <i>Bend</i>	122
4.4.3.3 Posisi Peletakan DVA di <i>Output</i>	129
4.4.4 Analisa Respon Reduksi Getaran	133
4.4.4.1 Reduksi Respon Percepatan Variasi Posisi Peletakan DVA.....	134
4.4.4.2 Reduksi Respon Percepatan untuk Variasi Massa DVA.....	138
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	141
5.4 Kesimpulan	141

5.2 Saran	142
DAFTAR PUSTAKA	143
LAMPIRAN.....	145
BIODATA PENULIS	157

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Grafik aspect ratio dengan total <i>loss coefficient</i> ^[5] ..	6
Gambar 2.2	Aliran internal pada pipa ^[5]	7
Gambar 2.3	<i>Free vibration System</i> ^[6]	11
Gambar 2.4	<i>Forced vibration System</i> ^[6]	11
Gambar 2.5	Ilustrasi sistem undamped dengan tiga derajat kebebasan ^[6]	12
Gambar 2.6	Skema peredaman <i>dynamic vibration absorber</i> ^[6] ..	14
Gambar 2.7	Efek penggunaan DVA terhadap rasio frekuensi natural sistem ^[6]	15
Gambar 2.8	<i>Vibration Frequency vs Fluid Velocity</i> ^[3]	16
Gambar 2.9	<i>Free body diagram Damped Dynamic vibration absorber (DDVA)</i> terhadap massa utama ^[4]	18
Gambar 2.10	Grafik respon sistem utama yang telah ditambahkan dengan <i>Damped Dynamic vibration absorber</i> ^[4] ..	18
Gambar 2.11	Pipeline system finite element model ^[2]	20
Gambar 2.12	<i>Different bending radius elbows finite element model</i> ^[2]	20
Gambar 2.13	<i>Vibration acceleration level of the four elbow under the X-axis excitation</i> ^[2]	20
Gambar 2.14	<i>The corporation curve of the acceleration at the downstream of the elbow is with the change of velocity.</i> ^[2]	21
Gambar 2.15	Kontruksi DVA ^[1]	22
Gambar 2.16	Instalasi 4 DVA pada sistem utama ^[1]	23
Gambar 2.17	<i>x/y/z-scale displacement harmonic response curve of the node 32231 with DVA</i> ^[1]	23
Gambar 2.18	Model matematika dari sistem ^[8]	24
Gambar 2.19	Deformasi bentuk mode ^[8]	25
Gambar 2.20	Kontur tekanan ^[8]	26
Gambar 3.1	Flowchart penelitian	28
Gambar 3.2	Rangkaian sistem perpipaan tampak samping	30
Gambar 3.3	Rangkain sitem perpipaan tampak atas	30

Gambar 3.4	Sistem utama yang di analisa (Pipa <i>elbow</i> 90°)	31
Gambar 3.5	Rancangan DVA	32
Gambar 3.6	Pemasangan DVA pada sistem utama (Pipa <i>elbow</i> 90°) di (a) <i>Input</i> , (b) <i>Bend</i> dan (c) <i>Output</i>	34
Gambar 3.7	Skema analisis Workbench Ansys fluent.....	35
Gambar 3.8	Model dinamis sistem utama tanpa penambahan DVA	36
Gambar 3.9	<i>Free body diagram</i> sistem utama tanpa penambahan DVA	37
Gambar 3.10	Model dinamis sistem utama dengan penambahan DVA yang berada pada <i>input</i> dari sistem utama	39
Gambar 3.11	<i>Free body diagram</i> sistem utama dengan penambahan DVA.....	40
Gambar 3.12	<i>Free body diagram</i> massa DVA (M2)	42
Gambar 3.13	<i>Free body diagram</i> massa DVA (M3)	43
Gambar 3.14	Model dinamis sistem utama dengan penambahan DVA yang berada pada <i>bend</i> dari sistem utama	45
Gambar 3.15	<i>Free body diagram</i> sistem utama dengan penambahan DVA.....	46
Gambar 3.16	<i>Free body diagram</i> massa DVA (M2) arah sumbu x.....	48
Gambar 3.17	<i>Free body diagram</i> massa DVA (M2) arah sumbu y.....	49
Gambar 3.18	<i>Free body diagram</i> massa DVA (M3) arah sumbu x.....	50
Gambar 3.19	<i>Free body diagram</i> massa DVA (M3) arah sumbu y.....	50
Gambar 3.20	Model dinamis sistem utama dengan penambahan DVA yang berada pada <i>output</i> dari sistem utama	53
Gambar 3.21	<i>Free body diagram</i> sistem utama dengan penambahan DVA	54
Gambar 3.22	<i>Free body diagram</i> massa DVA (M2)	55
Gambar 3.23	<i>Free body diagram</i> massa DVA (M3)	56
Gambar 3.24	Bodediagram Sistem Utama 2 DOF.....	59

Gambar 3.25	Massa utama(Pipa <i>elbow</i> 90°) dan clamp.....	60
Gambar 3.26	Desain <i>ring mass</i> untuk rancang bangun DVA...	62
Gambar 3.27	Desain <i>beam</i> untuk rancang bangun DVA.....	62
Gambar 3.28	<i>Free body diagram</i> benda kerja	63
Gambar 3.29	Potongan benda kerja ($0 \leq X \leq 1$).....	64
Gambar 3.30	(a) Diagram gaya dan (b) Diagram momen	64
Gambar 3.31	Dimensi dari pipa <i>elbow</i> 90°	67
Gambar 3.32	Lingkaran <i>hollow</i>	67
Gambar 4.1	Meshing permukaan pipa.....	73
Gambar 4.2	Meshing pipa <i>elbow</i>	73
Gambar 4.3	Tipe aliran yang di simulasikan	74
Gambar 4.4	Viscous model yang di simulasikan.....	75
Gambar 4.5	Boundary Condition yang di simulasikan untuk <i>inlet</i> (a), <i>outflow</i> (b), dan <i>wall</i> (c)	77
Gambar 4.6	Metode yang digunakan untuk penyelesaian simulasi	78
Gambar 4.7	Contoh grafik residual simulasi pipa <i>elbow</i>	79
Gambar 4.8	Pressure Countour (a) pipa <i>elbow</i> kecepatan 0.3 m/s, (b) Pipa <i>elbow</i> kecepatan 0.5 m/s, (c) pipa <i>elbow</i> kecepatan 0.7 m/s.....	81
Gambar 4.9	Koordinat vector hasil simulasi.....	82
Gambar 4.10	Hasil <i>export fluent</i> berupa gaya	83
Gambar 4.11	Blok Diagram Sistem Utama Tanpa DVA untuk Getaran Arah y.....	87
Gambar 4.12	Blok Diagram Sistem Utama Tanpa DVA untuk Getaran Arah x.....	87
Gambar 4.13	Blok Diagram Sistem Utama Dengan DVA untuk Getaran Arah y.....	91
Gambar 4.14	Blok Diagram Sistem Utama Dengan DVA untuk Getaran Arah x.....	91
Gambar 4.15	Bode diagram massa utama dengan variasi kecepatan	93
Gambar 4.16	Bode diagram massa utama dengan variasi posisi peletakan DVA 1/10 dari massa utama	95

Gambar 4.17	Bode diagram massa utama dengan variasi posisi peletakan DVA 1/20 dari massa utama	95
Gambar 4.18	Bode diagram massa utama dengan variasi posisi peletakan DVA 1/30 dari massa utama	96
Gambar 4.19	Bode diagram massa utama dengan variasi ratio massa DVA.....	98
Gambar 4.20	Bode diagram massa utama dengan variasi ratio massa DVA di <i>bend</i>	98
Gambar 4.21	Grafik respon percepatan getaran translasi sistem utama saat variasi kecepatan fluida arah sumbu Y di <i>Input</i>	99
Gambar 4.22	Grafik nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama dengan variasi kecepatan fluida arah (a) Sumbu Y di <i>Input</i> , (b) Sumbu Y di <i>Bend</i> ...	100
Gambar 4.23	Perbandingan grafik respon percepatan getaran translasi sistem utama saat variasi kecepatan fluida arah sumbu X di <i>Output</i>	102
Gambar 4.24	Grafik nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama dengan variasi kecepatan fluida arah (a) Sumbu X di <i>Bend</i> , (b) Sumbu X di <i>Output</i>	103
Gambar 4.25	Perbandingan grafik respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA berada di <i>input</i> dari pipa <i>elbow</i> 90° saat kecepatan fluida 0.7 m/s dengan rasio massa DVA 1/10 (a) rasio massa DVA 1/20 (b) dan rasio massa DVA 1/30(c).....	105
Gambar 4.26	Grafik nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA berada di <i>input</i> dari pipa <i>elbow</i> 90° saat variasi kecepatan fluida 0.3 m/s, 0.5 m/s dan 0.7 m/s	106
Gambar 4. 27	Perbandingan grafik respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA berada di <i>bend</i> dari pipa <i>elbow</i>	

	90° saat kecepatan fluida 0.7 m/s dengan massa DVA 1/10 (a) massa DVA 1/20 (b) dan massa DVA 1/30(c).....	109
Gambar 4.28	Grafik nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA berada di <i>bend</i> dari pipa <i>elbow</i> 90° saat variasi kecepatan fluida 0.3 m/s, 0.5 m/s dan 0.7 m/s	110
Gambar 4.29	Perbandingan grafik respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu x dengan penambahan DVA berada di <i>bend</i> dari pipa <i>elbow</i> 90° saat kecepatan fluida 0.7 m/s dengan massa DVA 1/10 (a) massa DVA 1/20 (b) dan massa DVA 1/30(c).....	112
Gambar 4.30	Grafik nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu x dengan penambahan DVA berada di <i>bend</i> dari pipa <i>elbow</i> 90° saat variasi kecepatan fluida 0.3 m/s, 0.5 m/s dan 0.7 m/s.	113
Gambar 4.31	Perbandingan grafik respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu x dengan penambahan DVA berada di <i>output</i> dari pipa <i>elbow</i> 90° saat kecepatan fluida 0.7 m/s dengan massa DVA 1/10 (a) massa DVA 1/20 (b) dan massa DVA 1/30(c).....	116
Gambar 4.32	Grafik nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu x dengan penambahan DVA di <i>output</i> dari pipa <i>elbow</i> 90° saat variasi kecepatan fluida 0.3 m/s, 0.5 m/s dan 0.7 m/s.	117
Gambar 4.33	Perbandingan grafik respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA berada di <i>input</i> dari pipa <i>elbow</i> 90° saat variasi kecepatan fluida 0.7 m/s (c) ...	119
Gambar 4.34	Grafik nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu y dengan penambahan	

	DVA di <i>input</i> dari pipa <i>elbow</i> 90° saat variasi kecepatan fluida 0.3 m/s , 0.5 m/s dan 0.7 m/s	121
Gambar 4.35	Perbandingan grafik respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA berada di <i>bend</i> dari pipa <i>elbow</i> 90° saat variasi kecepatan fluida 0.7 m/s.....	123
Gambar 4.36	Grafik nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA di <i>bend</i> dari pipa <i>elbow</i> saat variasi kecepatan fluida 0.3 m/s , 0.5 m/s dan 0.7 m/s	125
Gambar 4.37	Perbandingan grafik respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu x dengan penambahan DVA berada di <i>bend</i> dari pipa <i>elbow</i> 90° saat variasi kecepatan fluida 0.7 m/s.....	126
Gambar 4.38	Grafik nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu x dengan penambahan DVA di <i>bend</i> dari pipa <i>elbow</i> 90° saat variasi kecepatan fluida 0.3 m/s , 0.5 m/s dan 0.7 m/s	128
Gambar 4.39	Perbandingan grafik respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu x dengan penambahan DVA berada di <i>output</i> dari pipa <i>elbow</i> 90° saat variasi kecepatan fluida 0.7 m/s	130
Gambar 4.40	Grafik nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA di <i>output</i> dari pipa <i>elbow</i> 90° saat variasi kecepatan fluida 0.3 m/s , 0.5 m/s dan 0.7 m/s	132
Gambar 4.41	Grafik nilai respon reduksi percepatan getaran translasi sistem utama dengan variasi peletakan DVA 1/10 dari massa sistem utama saat kecepatan fluida 0.7 m/s	135
Gambar 4.42	Grafik nilai respon reduksi percepatan getaran translasi sistem utama dengan variasi peletakan DVA 1/20 dari massa sistem utama saat kecepatan fluida 0.7 m/s	135

- Gambar 4.43** Grafik nilai respon reduksi percepatan getaran translasi sistem utama dengan variasi peletakan DVA 1/30 dari massa sistem utama saat kecepatan fluida 0.7 m/s 136
- Gambar 4.44** Grafik nilai respon reduksi percepatan getaran translasi sistem utama dengan variasi massa DVA saat kecepatan fluida 0.7 m/s 139

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Representative dimensionless equivalent lengths (Le/D)</i> untuk katup dan <i>fitting</i> ^[5]	6
Tabel 2.2 Kecepatan fluida terhadap getaran yang diinduksi ^[3] ..	16
Tabel 3.1 Dimensi Pipa ^[7]	58
Tabel 3.2 Properties Pipa ^[7]	58
Tabel 3.3 Properties Fluida ^[5]	58
Tabel 3.4 Kombinasi Pengambilan Data Simulasi	70
Tabel 4.1 Koordinat vector masing masing titik.....	82
Tabel 4.2 Besar gaya pada posisi peletakan DVA pada tiap variasi kecepatan.....	85
Tabel 4.3 Frekuensi natural dengan variasi peletakan DVA	94
Tabel 4.4 Frekuensi natural dengan variasi massa DVA.....	97
Tabel 4.5 Respon reduksi percepatan variasi posisi peletakan DVA dengan kombinasi variasi rasio massa DVA	134
Tabel 4.6 Respon reduksi percepatan variasi rasio massa DVA dengan kombinasi variasi posisi peletakan DVA	138

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem perpipaan sangat penting dalam dunia industri yaitu untuk mengalirkan fluida antara satu *plant* ke *plant* lainnya. Sambungan (*fitting*) merupakan bagian dari suatu instalasi perpipaan yang berfungsi sebagai penyambung antar pipa atau outlet fitting. Didalam saluran lengkung (*elbow*) terjadi penurunan tekanan (*pressure drop*) yang lebih besar jika dibandingkan dengan penurunan tekanan (*pressure drop*) pada aliran di dalam pipa lurus dengan panjang yang sama. Apabila penurunan tekanan terlalu besar dapat mengakibatkan kavitasi dan getaran pada sistem perpipaan. Getaran sendiri dapat didefinisikan sebagai gerakan bolak-balik suatu benda dari posisi awal melalui titik keseimbangan dengan periode, amplitudo dan frekuensi tertentu. Apabila getaran ini berlebih dan tidak dipertimbangkan dalam sistem perpipaan maka dapat menyebabkan resonansi yang sama dengan frekuensi alami dari pipa sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada sistem perpipaan. Maka dari itu getaran berlebih tersebut perlu dikurangi atau di reduksi. Salah satu perukudisian yang dapat dilakukan yaitu dengan menggunakan *Dyanamic Vibration Absorber* (DVA). Prinsip kerja dari DVA adalah dengan penambahan massa dan pegas pada sistem utama yang akan mereduksi respon getaran yang terjadi pada sistem utama.

Sampai saat ini terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan mengenai getaran pada pipa *elbow* 90° seperti yang dilakukan oleh Keshtkar H^[3] yang mempelajari dan merancang sistem perpipaan melalui pipa *elbow* 90° dengan membandingkan vibration modes dan frekuensi untuk kasus kecepatan fluida yang berbeda, serta melihat pada frekuensi alami resonansi getaran yang mungkin mengarah pada kemungkinan kegagalan pipa. Penelitian

lainya dilakukan oleh Chang Liu^[1] yang meneliti getaran pipa *elbow* dan meredam getaran pipa *elbow* pada *Skid Mounted Compressor Unit* dengan menggunakan DVA, penelitian ini dilakukan dengan metode validasi menggunakan analisa finite element.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dilakukan analisa reduksi getaran dengan menggunakan DVA pada Pipa *elbow* 90° dengan suatu simulator getaran dalam skala laboratorium. Analisa ini dilakukan dengan mensimulasikan sistem terkait dengan menggunakan software matlab simulink. DVA yang digunakan berupa *ring mass-rubber beam-clamp*, dimana dapat meredam getaran pada sistem utama ke arah translasi sumbu x dan y. Untuk mengetahui respon getaran pada sistem utama, dilakukan variasi kecepatan fluida yang mengacu pada nilai Re yaitu sebesar 12188 sehingga kecepatan fluidanya sebesar 0.3 m/s, nilai Re 20312 sehingga kecepatan fluidanya sebesar 0.5 m/s dan nilai Re 28437 sehingga kecepatan fluidanya sebesar 0.7 m/s, dimana ketiga nilai Re tersebut merupakan aliran *turbulent*. Selanjutnya variasi lain yang dilakukan yaitu variasi rasio massa DVA sebesar 1/10, 1/20 dan 1/30 dari massa utama. Selain itu juga dilakukan variasi peletakan *Dynamic vibration absorber* (DVA), dimana posisi peletakan dari DVA diletakan pada masukan (*input*) dari pipa *elbow*, belokan (*bend*) dari pipa *elbow* dan keluaran (*output*) dari pipa *elbow*.

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, maka pemassalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana merancang model dinamis DVA pada fitting perpipaan jenis *elbow* 90° untuk mereduksi getaran transversal pada sistem utama ?

2. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan fluida terhadap respon getaran transversal pada fitting perpipaan jenis *elbow* 90° ?
3. Bagaimana pengaruh variasi posisi peletakan DVA pada fitting perpipaan jenis *elbow* 90° terhadap respon getaran transversal ?
4. Bagaimana pengaruh variasi massa DVA pada fitting perpipaan jenis *elbow* 90° terhadap respon getaran transversal ?
5. Bagaimana menganalisa respon reduksi getaran transversal sebelum dan sesudah di pasang DVA pada fitting perpipaan jenis *elbow* 90° ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Merancang model dinamis DVA pada fitting perpipaan jenis *elbow* 90° untuk mereduksi getaran transversal pada sistem utama.
2. Mengetahui pengaruh variasi kecepatan fluida terhadap respon getaran transversal pada fitting perpipaan jenis *elbow* 90°.
3. Mengetahui pengaruh variasi posisi peletakan DVA pada fitting perpipaan jenis *elbow* 90° terhadap respon getaran transversal.
4. Mengetahui pengaruh variasi massa DVA pada fitting perpipaan jenis *elbow* 90° terhadap respon getaran transversal.
5. Menganalisa respon reduksi getaran transversal sebelum dan sesudah di pasang DVA pada fitting perpipaan jenis *elbow* 90°.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan agar penelitian dapat berjalan secara fokus dan terarah, serta dapat mencapai tujuan yang diinginkan, antara lain sebagai berikut.

1. Aliran fluida adalah unsteady dan incompressible flow.

2. Tinjauan getaran dan pereduksian getaran hanya pada pipa *elbow* 90° yang dialiri fluida.
3. Gaya eksitasi sebagai *input* getaran yang terjadi merupakan sinusoidal.
4. Gaya eksitasi yang terjadi merupakan gaya dengan arah transversal.
5. Getaran dari luar mekanisme diabaikan.
6. Penelitian di titik beratkan pada alat pereduksi getaran.
7. Konstanta redama pipa *elbow* diabaikan.
8. Metode penelitian ini di asumsikan beban terpusat

1.5 Manfaat Penelitian

Maanafaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini bermanfaat untuk memberikan informasi rancangan pemodelan dinamis sistem perpipaan *elbow* yang diberi eksitasi dari fluida sebagai sumber getar.
2. Penelitian ini bermanfaat untuk memberikan informasi mengenai respon reduksi getaran sistem perpipaan *elbow* yang diberi eksitasi dari fluida sebelum dan sesudah penambahan DVA.
3. Penelitian ini bermanfaat untuk memberikan informasi mengenai respon reduksi getaran informasi mengenai respon reduksi getaran akibat posisis peletakkan DVA terhadap sistem utama.
4. Penelitian ini juga bermanfaat sebagai sumber referensi penelitian selanjutnya mengenai peredaman getaran pada sisitem perpipaan *elbow* akibat dari fluida yang mengalir didalam pipa dengan berbagai variasi lainnya.

BAB II

DASAR TEORI & TINJAUAN PUSTAKA

BAB II

DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

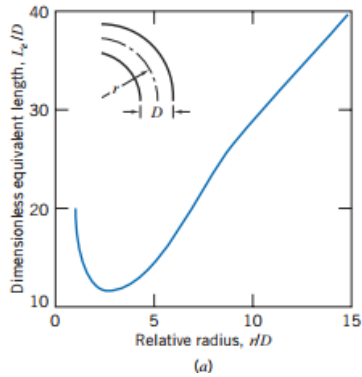
Pada bab ini diuraikan beberapa teori yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan serta dilengkapi dengan referensi mengenai penelitian-penelitian sebelumnya. Tinjauan pustaka ini digunakan sebagai dasar untuk melakukan penelitian tugas akhir ini.

2.1 Sistem Perpipaan

Sistem perpipaan sangat penting dalam dunia industri yaitu untuk mengalirkan fluida antara satu *plant* ke *plant* lainnya. Komponen dari sistem perpipaan secara umum terdiri dari pipa, *Fitting elbow*, reducer, *tee*, *flange*, dll, Instrumentasi untuk mengukur dan mengendalikan parameter aliran fluida, Peralatan atau equipment dan Penyangga pipa. Pada tugas akhir ini yang dianalisa adalah getaran pada pipa *elbow* 90°.

2.2 Geometri *Elbow*

Didalam saluran lengkung (*elbow*) mengalami *pressure drop* yang lebih besar jika dibandingkan dengan *pressure drop* pada aliran di dalam pipa lurus dengan panjang yang sama. Hal ini dapat terjadi karena aliran di dalam sebuah *elbow* mengalami kerugian akibat gesekan (*friction loss*). Selain mengalami *friction loss* aliran didalam *elbow* juga mengalami aliran sekunder (*secondary loss*). Geometri *elbow* dinyatakan dengan nilai aspect ratio(r/D) yaitu perbandingan antara mean radius dan lebar sisi masuk. Pengaruh *aspect ratio* ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Grafik *aspect ratio* dengan *total loss coefficient* ^[5]

Tabel 2.1 *Representative dimensionless equivalent lengths (L_e/D) untuk katup dan fitting* ^[5]

Fitting Type	Equivalent Length, ^a L_e/D
Valves (fully open)	
Gate valve	8
Globe valve	340
Angle valve	150
Ball valve	3
Lift check valve: globe lift	600
angle lift	55
Foot valve with strainer: poppet disk	420
hinged disk	75
Standard elbow: 90°	30
45°	16
Return bend, close pattern	50
Standard tee: flow through run	20
flow through branch	60

^aBased on $h_L = f(L_e/D)(V^2/2)$.

Pada gambar 2.1 ditunjukkan bahwa *total loss coefficient* merupakan penjumlahan resistance due to length dan *bend* resistance. Resistance due to length yaitu koefisien yang menunjukkan kerugian akibat gesekan, sedangkan *bend* resistance merupakan koefisien yang menunjukkan kerugian akibat separasi. Semakin besar r/D -nya maka jarak tempuh fluida juaan semakin panjang. Nilai r/D berbanding terbalik dengan nilai *bend*

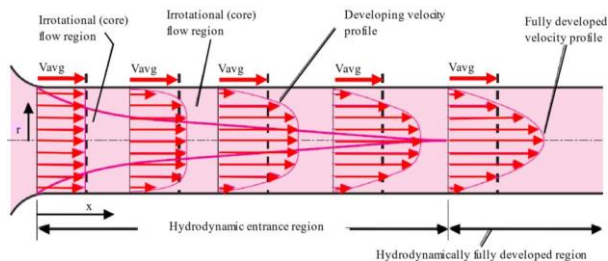
resistance. Apabila nilai r/D kecil maka nilai dari *bend* resistance akan mengalami kenaikan, hal ini dapat terjadi dikarenakan fluida mengalami gesekan yang semakin besar, sehingga potensi terbentuknya separasi semakin besar.

2.3 Sumber Eksitasi Berupa Fluida

Pada penelitian tugas akhir ini digunakan air sebagai fluida kerja yang membuat getaran pada sistem perpipaan. Adapun teori yang digunakan berupa berikut ini.

2.3.1 Aliran Internal

Aliran internal adalah aliran dimana fluida mengalir secara penuh serta dilingkupi secara utuh oleh permukaan benda padat, seperti aliran pada pipa. Gambar 2.2 mengilustrasikan aliran yang masuk pada pipa mulai dari kecepatan uniform hingga membentuk aliran fully developed. Aliran fully developed dapat terbentuk ketika sudah melewati entrance region dan entrance length pada aliran laminar jarak entrance length sebesar $13D$, sedangkan pada turbulen sebesar $25D - 40D$. Fenomena aliran seperti ini terjadi ketika aliran yang mengalir tidak mengalami gangguan, seperti pada fitting, instalasi, dan sebagainya. Setiap aliran baik laminar maupun turbulen.



Gambar 2.2 Aliran internal pada pipa^[5]

2.3.2 Aliran Laminar, Transisi dan Turbulen

Aliran laminar merupakan aliran dengan fluida bergerak dalam lapisan-lapisan atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Aliran transisi merupakan perubahan dari aliran laminar dan turbulen. Aliran turbulen merupakan aliran dimana partikel dari fluida bercampur dengan cepat ketika bergerak bersamaan karena fluktuasi kecepatan tiga dimensi yang bergerak acak. Parameter kecepatan dan ketebalan menentukan apakah aliran tersebut dapat dikatakan aliran laminar atau aliran turbulen. Berdasarkan parameter tersebut, kondisi aliran laminar dan aliran turbulen dapat dinyatakan dalam bilangan tak berdimensi yaitu Reynold Number. Dimana aliran dapat dikatakan sebagai aliran laminar apabila nilai $Re < 2300$, aliran digolongkan menjadi aliran transisi apabila nilai Re nya $2300-4000$ aliran digolongkan sebagai aliran turbulen apabila nilai $Re > 4000$. Namun pendekatan tersebut hanya berlaku pada aliran incompressible. Bilangan reynolds merupakan rasio antara gaya inersia terhadap gaya geser. Sehingga bilangan reynolds dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D_h}{\mu} \quad (2.1)$$

Dimana : Re adalah bilangan reynolds

V adalah kecepatan aliran fluida (m/s)

D_h adalah diameter dalam saluran (m)

μ adalah viskositas dinamik fluida(kg.m/s)

2.3.3 Aliran *Compressible* dan *Incompressible*

Aliran compressible adalah aliran yang melewati suatu benda padat dan apabila terjadi perubahan temperatur maka sangat berpengaruh terhadap nilai dari densitasnya. Sedangkan aliran incompressible merupakan aliran yang berkebalikan dari aliran compressible, sehingga pengaruh perubahan temperatur pada

densitas dapat diabaikan. Adapun cara untuk membedakan kedua aliran yaitu dengan perhitungan menggunakan bilangan Mach (M).

$$M = \frac{\bar{V}}{c} \quad (2.2)$$

Dimana : M adalah bilangan Mach

\bar{V} adalah rata-rata aliran

c adalah kecepatan rambat suara

2.3.4 Head loss

Kerugian tekanan atau *Head loss* adalah suatu kerugian aliran didalam rangkaian dari suatu sistem perpipaan. Seperti pada sistem pemipaan untuk fluida cair dan gas, maka kerugian aliran selalu terjadi. Adapun *Head loss* yang terjadi pada pipa *elbow* dibagi menjadi dua macam yaitu *major head loss* dan *minor head loss*. *Major head loss* adalah kerugian energi dikarenakan efek gesekan pada fully developed flow di dalam pipa. *Minor head loss* adalah kehilangan tekanan akibat gesekan yang disebabkan oleh perubahan luasan penampang alirannya, fitting, entrance, katub, belokan pada *elbow* dan sebagainya. Adapun persamaan untuk *major head loss* dapat dilihat pada 2.3 dan persamaan *minor head loss* dapat dilihat pada 2.5 sebagai berikut.

$$h_l = \frac{32Lv}{d_{tube}^2} \dot{x} \quad (2.3)$$

dimana	h_l	= <i>major head loss</i> (m)
	L	= panjang pipa (m)
	d_{tube}	= diameter pipa (m)
	\dot{x}	= kecepatan aliran (m/s)
	Re	= reynold number
	v	= viskositas kinematik fluida (m ² /s)

Nilai friction factor dipengaruhi oleh nilai Reynold Number (Re) seperti dijelaskan pada persamaan (2.1) dan kekasaran permukaan pipa. Dari nilai Re dapat ditentukan jenis aliran dari fluida. Apabila $Re < 2300$ aliran digolongkan sebagai aliran laminar, sedangkan apabila $Re > 4000$ maka aliran digolongkan sebagai aliran turbulen. Nilai friction factor dapat dilihat pada persamaan 2.4 berikut ini.

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.4)$$

Persamaan untuk minor *head loss* adalah sebagai berikut:

$$h_{lm} = K \frac{\dot{x}^2}{2} \quad (2.5)$$

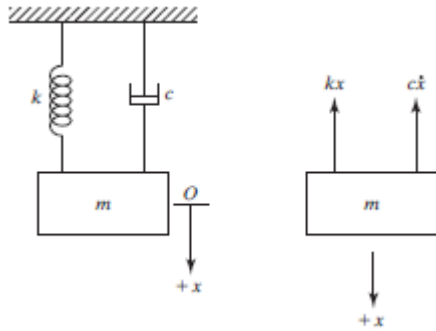
dimana h_{lm} = minor *head loss*
K = loss coefficient

2.4 Getaran

Getaran dapat didefinisikan sebagai gerakan bolak-balik suatu benda dari posisi awal melalui titik keseimbangan dengan periode, amplitudo dan frekuensi tertentu (Rao, 2004). Getaran berdasarkan sumber getarannya dapat terbagi menjadi :

2.4.1 *Free vibration*

Free vibration adalah getaran yang terjadi pada suatu sistem yang disebabkan oleh eksitasi sesaat yang berupa defleksi awal. Gambar 2.3 merupakan contoh dari sistem yang mengalami getaran dan redaman akibat dari adanya gaya harmonik. Apabila suatu sistem terkena gaya harmonik maka respon getarannya akan berlangsung pada frekuensi yang sama dengan frekuensi eksitasinya.



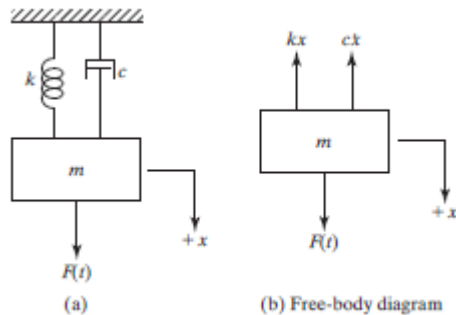
Gambar 2.3 *Free vibration System* ^[6]

Sistem diatas dapat dibentuk persamaan matematisnya sebagai berikut.

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + kX = 0 \quad (2.6)$$

2.4.2 *Forced Vibration*

Forced Vibration adalah getaran yang terjadi karena gaya eksitasi secara terus menerus terhadap massa sistem. Gambar 2.4 merupakan contoh dari sistem yang mengalami getaran dan redaman akibat mendapatkan gaya dari luar sistem.



Gambar 2.4 *Forced vibration System* ^[6]

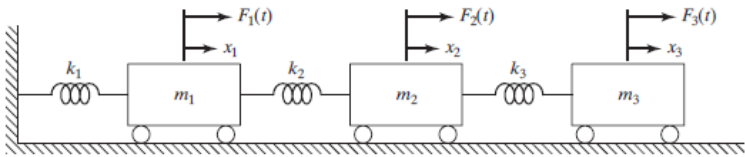
Sistem diatas dapat dibentuk persamaan matematisnya sebagai berikut.

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + kX = F(t) \quad (2.7)$$

2.5 Multi Degree of Freedom (MdoF)

Suatu sistem yang terdiri dari dua atau lebih massa dan diantara massa satu ke massa lain dihubungkan oleh pegas dapat dimodelkan sebagai Multi Degree of Freedom (MDoF). Pada sistem mekanik Multi Degree of Freedom sering menggunakan Hukum Newton kedua untuk membuat persamaan gerak. Jumlah derajat kebebasan yang semakin banyak memiliki penyelesaian aljabar yang kompleks. Sehingga perlu diselesaikan dalam bentuk matriks.

Pemodelan sistem MDoF dengan tiga derajat kebebasan dan tiga gaya eksitasi $F_1(t)$, $F_2(t)$, dan $F_3(t)$ diilustrasikan pada gambar 2.5 sebagai berikut.



Gambar 2.5 Ilustrasi sistem undamped dengan tiga derajat kebebasan^[6]

Dari ilustrasi pada gambar 2.5 didapatkan matriks dari persamaan gerak untuk setiap massa sesuai Hukum Newton Kedua yaitu sebagai berikut.

$$M_i\ddot{x}_i + K_ix_i = F_{ij} \quad (2.8)$$

Persamaan (2.8) terdiri atas $j=1$, $j=2$, dan $j=3$ maka dapat ditulis dalam bentuk matriks.

$$\begin{aligned}
[m] &= \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}, [k] \\
&= \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix}, [F] \quad (2.9) \\
&= \begin{Bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \\ F_3(t) \end{Bmatrix}
\end{aligned}$$

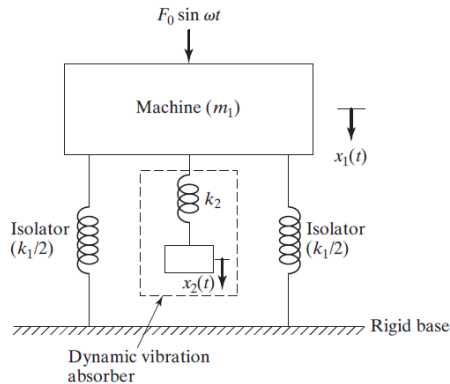
Sehingga dengan mensubstitusi persamaan 2.8 ke persamaan 2.7 didapatkan persamaan 2.10.

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \end{Bmatrix} \\
+ \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} \quad (2.10) \\
= \begin{Bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \\ F_3(t) \end{Bmatrix}
\end{aligned}$$

2.6 Dynamic vibration absorber

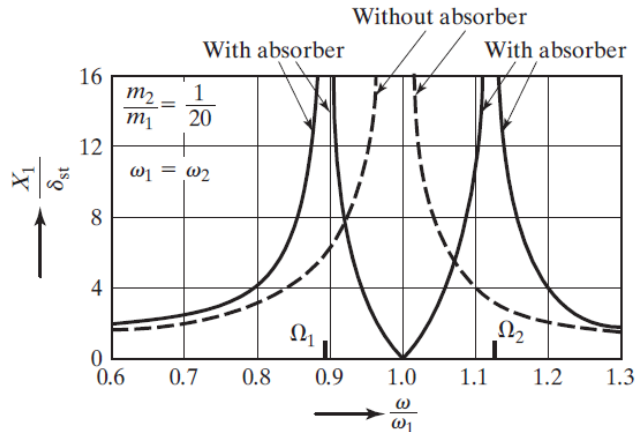
Proses vibration *absorber* merupakan salah satu proses vibration control pada sistem utama untuk mengurangi atau menghilangkan efek getaran yang tidak diinginkan (Rao, 2004) *Dynamic vibration absorber* dapat dimodelkan sebagai sistem dengan komponen *absorber* atau predam yang dipasang pada massa utama yang bergetar. *Absorber* tersebut dapat berupa sistem massa dan pegas yang dipasangkan pada sistem sumber getar yang akan direduksi getarannya. *Absorber* yang dipasang akan bekerja dengan membuat sistem memiliki dua frekuensi natural. Pemasangan massa *absorber* pada massa utama ini menghasilkan sistem dengan dua DoF, sehingga sistem tersebut akan memiliki

dua frekuensi natural. Skema peredaman *Dynamic vibration absorber* dapat dilihat pada gambar 2.7 di bawah ini.



Gambar 2.6 Skema peredaman *dynamic vibration absorber*^[6]

Penggunaan *Dynamic vibration absorber* pada sistem utama akan berdampak pada respon getaran yang akan tereduksi karena adanya *Dynamic vibration absorber* tersebut. Penambahan *Dynamic vibration absorber* pada sistem utama juga akan membagi dan dapat mereduksi rasio frekuensi natural sistem menjadi dua bagian yang mana akan menimbulkan rasio frekuensi natural yang berbeda. Skema efek penggunaan *Dynamic vibration absorber* pada rasio amplitudo respon sistem terhadap rasio frekuensi natural sistem ditunjukkan oleh gambar 2.8 di bawah ini.



Gambar 2.7 Efek penggunaan DVA terhadap rasio frekuensi natural sistem^[6]

2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian tugas akhir ini dilakukan berdasarkan rujukan dari penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya oleh beberapa peneliti. Penelitian tersebut digunakan sebagai dasar hipotesa awal, berikut beberapa penelitian tersebut :

2.7.1 *Vibration Analysis of a Turbulent Fluid Passing Inside an Elbow Shaped Pipe Section*

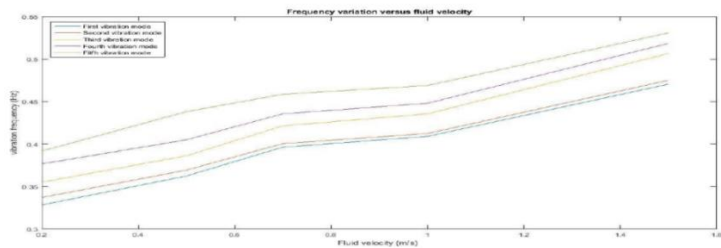
Penelitian mengenai getaran yang disebabkan cairan turbulen yang melewati bagian dalam pipa siku (*Vibration Analysis of a Turbulent Fluid Passing Inside an Elbow Shaped Pipe Section*) telah dilakukan sebelumnya oleh **Keshtkar H dan Jafari AA**^[3]. Penelitian yang dilakukan oleh peneliti terdahulu ini dilakukan secara simulasi bertujuan untuk melihat fenomena pada cairan yang melewati sebuah sistem perpipaan yang dapat menyebabkan getaran internal didalam pipa. Semua getaran yang terjadi ini diidentifikasi dan diprediksi agar tidak menimbulkan kerusakan pada sistem perpipaan, apabila getaran yang ditimbulkan beresonansi sangat besar dan mendekati frekuensi alami dari sistem. **Keshtkar**

H dan Jafari AA^[3] menggunakan ABAQUS sebagai pemecah CFD dan mempelajari *force vibration* dan *free vibration* yang disebabkan oleh aliran turbulensi fluida dengan kecepatan yang berbeda melalui pipa *elbow* 90°.

Pemodelan yang diterapkan pada penelitian ini menggunakan cairan berupa air pada suhu 20°C. Dengan memiliki harga density sebesar 1000 (kg/m³), harga dynamic viscosity sebesar $1,002 \times 10^{-3}$ (N.S/m²), harga kinematic viscosity sebesar $1,004 \times 10^{-6}$ (m²/s), dan air dianggap tidak dapat dimampatkan (incompressible).

Tabel 2.2 Kecepatan fluida terhadap getaran yang diinduksi^[3]

Fluid velocity	1 st vibration mode	2 nd vibration mode	3 rd vibration mode	4 th vibration mode	5 th vibration mode
0.2 m/s	0.3282 Hz	0.3371 Hz	0.3551 Hz	0.3766 Hz	0.3917 Hz
0.5 m/s	0.3624 Hz	0.3693 Hz	0.3862 Hz	0.4050 Hz	0.4281 Hz
0.7 m/s	0.3963 Hz	0.4005 Hz	0.4214 Hz	0.4356 Hz	0.4586 Hz
1 m/s	0.4090 Hz	0.4124 Hz	0.4356 Hz	0.4480 Hz	0.4689 Hz
1.5 m/s	0.4706 Hz	0.4751 Hz	0.5066 Hz	0.5185 Hz	0.4689 Hz



Gambar 2.8 *Vibration Frequency vs Fluid Velocity*^[3]

Dari penelitian yang telah dilakukan oleh **Keshtkar H dan Jafari AA**^[3] didapatkan bahwa dengan meningkatkan kecepatan fluida maka menyebabkan frekuensinya meningkat dan getaran yang di timbulkan juga meningkat, hal ini ditunjukkan dengan tabel 2.2 dengan mempertimbangkan frekuensi alami untuk pipa *elbow* 90° yang telah disimulasikan sebelumnya. Disimpulkan bahwa ada

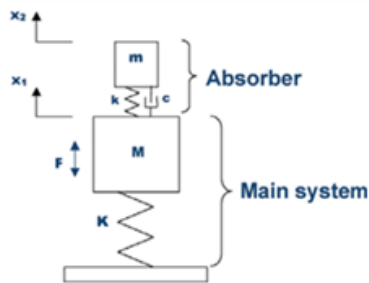
kemungkinan resonansi getaran terjadi pada kecepatan yang mendekati 0,2 m/s. Jadi jika ingin membuat pipa dengan sifat-sifat yang disebutkan di atas, maka harus berhati-hati untuk tidak membiarkan kecepatan fluida turun di bawah 0,2 m / s - 0,3 m / s yang dapat mendorong terjadinya resonansi.

Dari penelitian yang telah dilakukan oleh **Keshtkar H dan Jafari AA**^[3] yang telah dilakukan juga didapatkan grafik vibration frequency vs fluid velocity seperti pada gambar 2.9. Dengan memplot grafik untuk setiap case, menunjukkan frekuensi getaran dari masing-masing mode. Perpotongan antara garis-garis ini mewakili fenomena yang disebut dengan "fluttering" yang pada dasarnya berarti kecepatan fluida telah mencapai nilai kritisnya didalam pipa dan dapat menyebabkan kerusakan pada badan pipa dengan getaran yang di induksi, karena pada simulasi ini garis-garis kecepatan konstan tidak berpotongan sehingga tidak ada fenomena fluttering dalam simulasi. Dalam simulasi ini juga menunjukkan dengan meningkatnya kecepatan aliran fluida, distribusi tekanan dan tegangan maksimal pada bagian pipa akan meningkat baik dalam besaran maupun area yang terpengaruh, efek dari meningkatnya tekanan pada bagian ini menyebabkan peningkatan perpindahan maksimum dari titik yang terpengaruh. Semakin besar tingkat perpindahan, semakin besar frekuensi getaran.

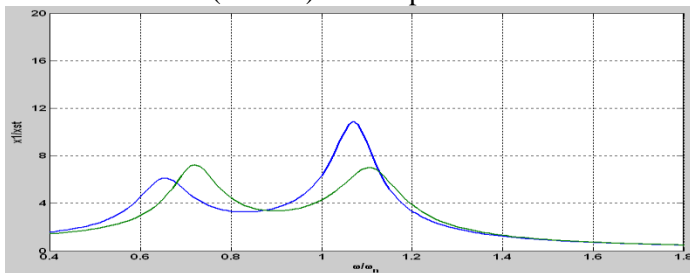
2.7.2 Optimum Design of Damped Dynamic vibration absorber a Simulation Approach

Penyerap getaran (*vibration absorber*) atau bisa disebut dengan penyerap getaran dinamis (DVA) adalah perangkat mekanis yang digunakan untuk mereduksi getaran yang tidak diinginkan. Terdiri dari sistem tambahan yang di melekat pada sistem utama yang perlu di lindungi dari getaran berlebihan. Penelitian mengenai desain optimal peredam getaran dinamis (*Optimum Design of Damped Dynamic vibration absorber a Simulation Approach*) dengan pendekatan simulasi telah dilakukan sebelumnya oleh **Pachpute A.Z., P.B.Bawa**^[4]. Penelitian yang dilakukan oleh peneliti terdahulu ini dilakukan dilakukan secara

simulasi dengan software simulink matlab untuk mengetahui respon dari suatu sistem yang dikondisikan dalam keadaan tertentu. Diantaranya adalah sistem tanpa DVA, sistem dengan damped DVA dan sistem dengan undamped DVA. Variasi yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu variasi berupa mass ratio (μ), damping ratio (ξ), tuning ratio (f). Pada gambar 2.10 dibawah ini free body diagram dari Damped *Dynamic vibration absorber* (DDVA) terhadap sistem utama.



Gambar 2.9 Free body diagram Damped *Dynamic vibration absorber* (DDVA) terhadap massa utama^[4]



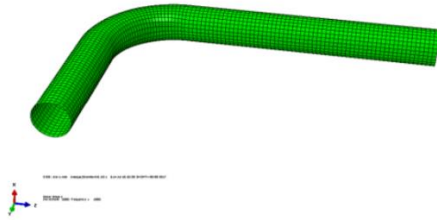
Gambar 2.10 Grafik respon sistem utama yang telah ditambahkan dengan *Damped Dynamic vibration absorber*^[4]

Gambar 2.11 menunjukkan grafik respon utama yang telah ditambahkan dengan *Damped Dynamic vibration absorber* (DDVA). Grafik berwarna hijau menunjukkan respon dari sistem utama, sedangkan garis berwarna biru menunjukkan respon dari sistem peredam. Dari grafik hasil simulasi didapatkan jika semakin

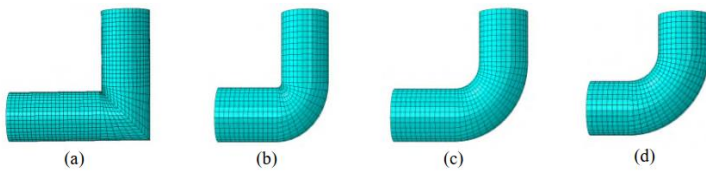
besar massa dari suatu *absorber* maka jarak dari frekuensi natural juga semakin besar, sehingga menyebabkan rentang frekuensi operasi yang aman juga semakin lebar. Dari simulasi yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan untuk *Damped Dynamic vibration absorber* (DDVA) peningkatan dari rasio massa menghasilkan respon yang berkurang dari sistem utama. Sebaliknya respon sistem penyerap (*absorber*) meningkat dengan meningkatnya redaman. Demikian peningkatan rasio tuning menghasilkan peningkatan respon pada sistem. Jadi pilihan parameter perlu dioptimalkan, pada umumnya rasio redaman rendah, rasio tuning rendah dapat dipilih pada bagian awal desain. Namun rasio tuning harus tinggi untuk kecepatan operasi tinggi.

2.7.3 *Finite Element Analysis and Experimental Study on Elbow Vibration Transmission Characteristics*

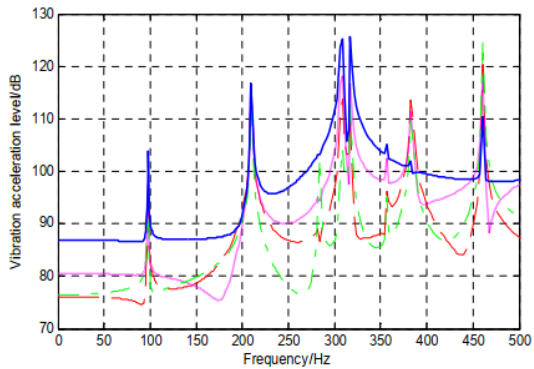
Penelitian mengenai analisis elemen hingga dan studi eksperimental pada karakteristik *elbow* getaran transmisi (*Finite Element Analysis and Experimental Study on Elbow Vibration Transmission Characteristics*) telah dilakukan sebelumnya oleh **Dai Qing-shan**^[2]. Dalam penelitian ini **Dai Qing-shan**^[2] menganalisis hubungan karakteristik transmisi getaran *elbow* dan jari-jari lentur (*bending*) menggunakan simulasi ABAQUS finite element dan juga melakukan uji getaran untuk mengamati karakteristik transmisi getaran *elbow* yang memiliki jari-jari *bending* berbeda dibawah kecepatan aliran yang berbeda. Pada Gambar 2.12 menunjukkan pipeline system finite element model dan Gambar 2.13 menunjukkan different *bending* radius *elbows* finite element model yang disimulasikan dengan ABAQUS dengan jenis pipa DN80, diameter 88,4 mm dan ketebalan dinding 4mm serta mensimulasikan getaran terhadap sumbu x, y dan z.



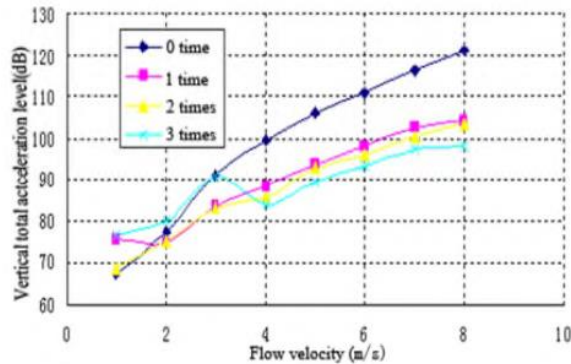
Gambar 2.11 Pipeline system finite element model^[2]



Gambar 2.12 Different bending radius elbows finite element model^[2]



Gambar 2.13 Vibration acceleration level of the four elbow under the X-axis excitation^[2]

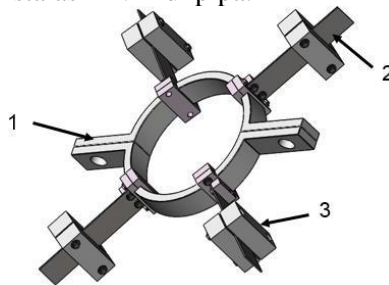


Gambar 2.14 *The corporation curve of the acceleration at the downstream of the elbow is with the change of velocity.* ^[2]

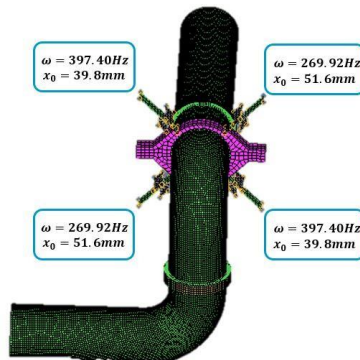
Gambar 2.14 2terlihat jika kurva dari empat *elbow* menunjukkan tren penurunan 0-250 dan 400-500 Hz. Dari gambar 2.14 ini dapat dilihat bahwa radius *bending* memiliki pengaruh terbesar pada karakteristik transmisi getaran dari sistem pipa akibat eksitasi terhadap X-axis. Sehingga dari hal tersebut didapatkan kesimpulan untuk simulasi yaitu semakin meningkatnya radius *bending* maka dapat mengurangi getaran transmisi dalam sistem perpipaan sampai batas tertentu. Dari gambar 2.15 merupakan hasil dari eksperimen dan dapat dilihat bahwa angka dari tingkat percepatan getaran total di segala arah *bending tube* meningkat dengan meningkatnya rasio diameter tertentu. Sehingga dapat disimpulkan dari hasil eksperimen ini yaitu penggantian radius *bending* besar memiliki efek tertentu pada tube fluid di aliran yang tidak teratur. Oleh karena itu, dalam aplikasi teknik ada jumlah minimal dari *elbow* dan optimasi komposisi jari-jari *elbow* dalam sistem perpipaan. Pada saat yang sama juga disarankan bawah jari-jari *bending* dari pipa logam tidak kurang dari 2D (D adalah 0 diameter luar pipa), jika ada beberapa kesulitan untuk pemasangan komponen maka jari-jari *bending* harus kurang dari 2D dengan nilai minimum tidak kurang dari 1,5D.

2.7.4 *Design and Validation of an Adjustabel Dynamic vibration absorber for Piping Vibration Suppression in Skid Mounted Compressor Unit*

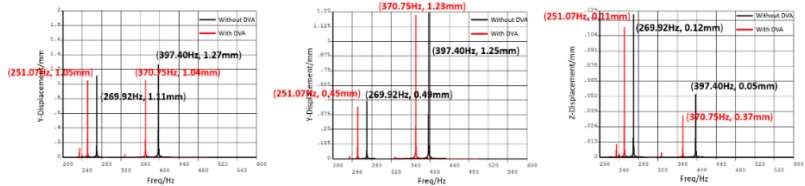
Penelitian mengenai desain dan validasi *absorber* getaran dinamis yang dapat disetel untuk penekan getaran pipa di unit kompresor (*Design and Validation of an Adjustabel Dynamic vibration absorber for Piping Vibration Suppression in Skid Mounted Compressor Unit*) telah dilakukan sebelumnya oleh **Chang LUI et al**^[1]. Penelitian tersebut meneliti terkait mereduksi getaran dengan *dynamic vibration absorber* pada pipa *elbow* di kompresor dan di analisis dengan finite element untuk memvalidasi efek reduksi getaran. Pada penelitian ini digunakan DVA yang digunakan terdiri dari penjepit annular dan beberapa sistem massa pegas diskrit (subsistem DVA). Sistem pegas-massa DVA baru ini menggunakan elektromagnet dan *leaf spring* yang dilengkapi dengan *slideway linier*, yang mana memungkinkan penyesuaian berkesinambungan dari frekuensi alami DVA dengan variasi massa dan perubahan posisi elektromagnet. Gambar 2.16 menunjukkan gambaran dari desain DVA yang digunakan mass block-leaf spring-Bolt connection dan gambar 2.17 menunjukkan gambaran dari instalasi DVA di pipa.



Gambar 2.15 Kontruksi DVA^[1]



Gambar 2.16 Instalasi 4 DVA pada sistem utama^[1]



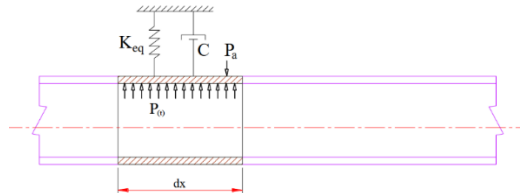
Gambar 2.17 x/y/z-scale displacement harmonic response curve of the node 32231 with DVA^[1]

Gambar 2.18 menunjukkan grafik respon perpindahan harmonik menggunakan DVA (*Dynamic vibration absorber*) dan tanpa DVA (*Dynamic vibration absorber*). Pada gambar 2.18 ditunjukkan bahwa instalasi DVA (*Dynamic vibration absorber*) pada pipa *elbow* dapat mereduksi getaran pada frekuensi natural sistem utama tanpa DVA (*Dynamic vibration absorber*) yang ditunjukkan dengan garis merah terhadap garis hitam. Dimana garis merah sebagai grafik respon menggunakan DVA dan garis hitam sebagai grafik respon tanpa menggunakan DVA. Pada penelitian ini didapatkan hasil sebagai berikut : DVA (*Dynamic vibration absorber*) dapat mereduksi getaran secara efektif pada frekuensi natural dari sistem utama tanpa DVA (*Dynamic vibration absorber*), penambahan massa dan arah pemasangan DVA (*Dynamic vibration absorber*) pada annular clamp dinilai dapat

mereduksi getaran secara efektif terhadap sistem utama dan DVA ini memiliki redaman getaran yang efektif pada sistem utama.

2.7.5 *Experimental Study and Analysis of Flow Induced Vibration in a Pipeline*

Penelitian mengenai studi eksperimental dan analisis aliran yang diinduksi getaran dalam pipa (*Experimental Study and Analysis of Flow Induced Vibration in a pipeline*) telah dilakukan sebelumnya oleh **Veerapandi R, et al** ^[8]. Pada penelitian ini membahas model matematika dan analisis komputasi getaran yang diinduksi aliran, dimana komponen utama yang menyebabkan getaran adalah katup tipe sudut yang nantinya akan di analisa secara dinamis dan komputasi perilaku dari aliran yang melalui katup tersebut. Studi eksperimental dan analisa getaran yang di induksi aliran dilakukan dengan mempelajari pengaruh turbulensi aliran gas dalam sistem perpipaan. Pada penelitian ini model komputasi dilakukan dengan menggunakan CATIA dan sesuai dengan spesifikasi dan efek dari turbulensi aliran gas dalam elemen perpipaan di analisis menggunakan perangkat lunak Fluent dan ANSYS dengan asumsi alirannya stabil, irrotasional, seragam, turbulen dan 3 dimensi simetri. Gambar 2.19 merupakan model matematis dari sistem utama.



Gambar 2.18 Model matematika dari sistem^[8]

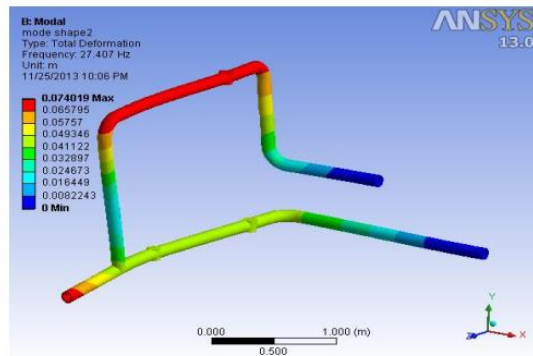
Dari hukum gerak linear kedua Newton, untuk persamaan *free body diagram*nya seperti pada persamaan 2.20. dan di asumsikan fungsi tekanan merupakan tekanan harmonis sehingga persamaanya menjadi 2.21.

$$F = m \times a$$

$$Meq \ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t)$$

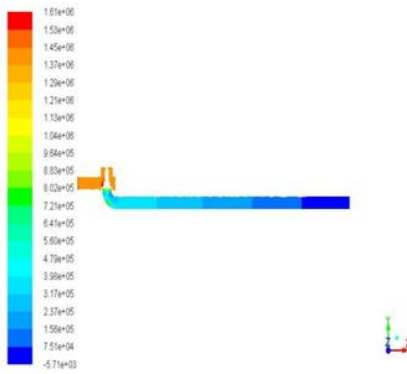
$$Meq \ddot{x} + c\dot{x} + kx = P(t) \times Ap \quad (2.20)$$

$$\ddot{x} + \frac{C \dot{x}}{Meq} + \frac{kx}{Meq} = \frac{P_o \times Ap}{Meq} \sin \omega t \quad (2.21)$$



Gambar 2.19 Deformasi bentuk mode^[8]

Gambar 2.20 merupakan hasil dari simulasi didapatkan deformasi maksimal yang terjadi pada pipa yang berada di atas yaitu sebesar 0,074019 mm dan didapatkan frekuensi alaminya sebesar 27,912. Gambar 2.21 merupakan gambar dari kontur tekanan hasil simulasi fluent. Kesimpulan dari penelitian ini yaitu penelitian ini membahas studi analitik dan analisis komputasi getaran yang diinduksi aliran dalam pipa dan analisis modal dalam konfigurasi aliran pipa juga dipelajari. Dimana perilaku dari fluida dinamis dalam katup annular dipelajari dan diperoleh dari hasil CFD.



Gambar 2.20 Kontur tekanan^[8]

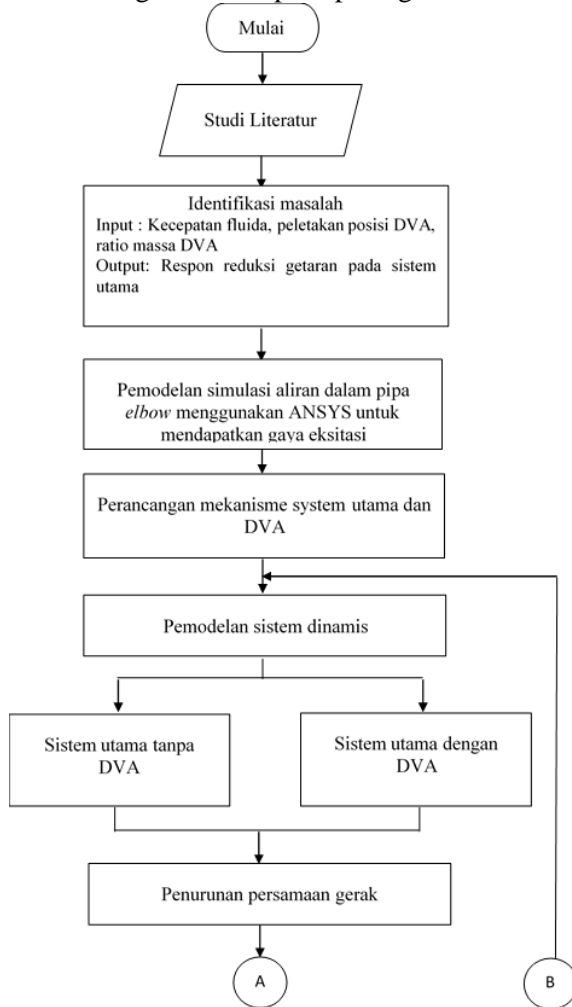
BAB III

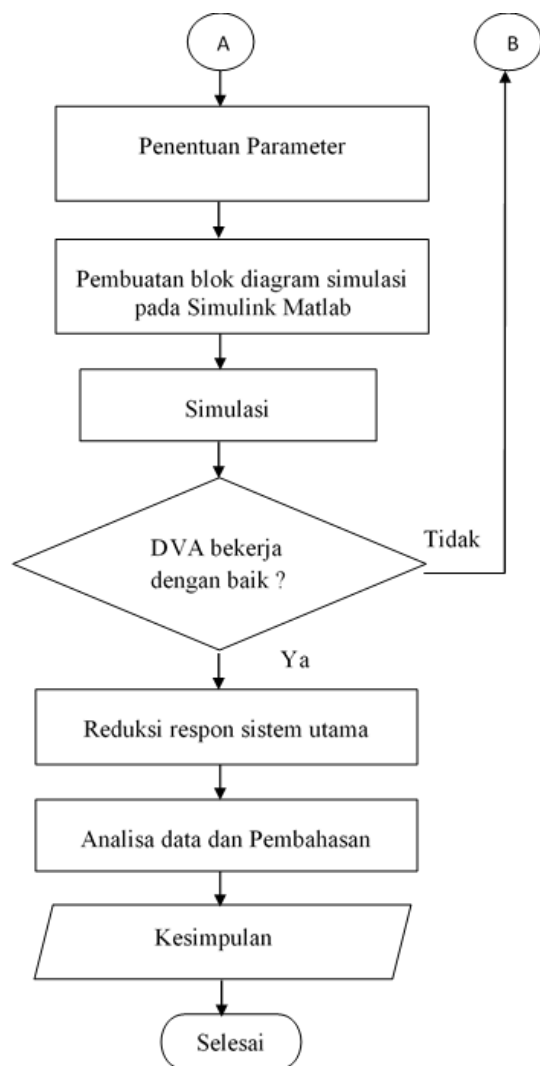
METODOLOGI

BAB III METODOLOGI

3.1 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini digambarkan dalam diagram alir seperti pada gambar 3.1 berikut.





Gambar 3.1 Flowchart penelitian

3.2 Metode Pengerjaan Penelitian

Metode pelaksanaan penelitian tugas akhir ini secara umum dijelaskan oleh gambar 3.1 yang terdiri dari beberapa tahap pengerjaan. Namun untuk memperoleh hasil yang diinginkan, maka perlu dilakukan pemahaman terhadap metode-metode yang dilakukan tersebut.

3.2.1 Studi Literatur

Dalam melakukan penelitian tugas akhir ini diperlukan referensi-referensi yang dapat menunjang dalam proses analisis getaran pada pipa *elbow* dan permodelan Dynamic Vibraton *Absorber* (DVA) untuk meredam getaran yang terjadi pada pipa *elbow*. Studi literatur merupakan langkah awal untuk menambah wawasan pengetahuan dan landasan mengenai pemmasalahan yang akan dibahas. Materi dari studi literatur yang mendukung yaitu Getaran pada Sistem Perpipaan, Derajat Kebebasan (Degree of Freedom), Base-Motion Vibration, *Dynamic vibration absorber*, Permodelan Sistem Dinamis dan blok diagram pada program simulasi Simulink Matlab. Studi literatur didapat dari buku, jurnal-jurnal ilmiah, maupun penelitian terdahulu, dan jurnal internasional.

3.2.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi pemmasalahan yang dilakukan pada penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu *input* dan *output*. *input* merupakan masukan yang diberikan pada penelitian ini, yaitu berupa variasi penggunaan kecepatan fluida, variasi posisi peletakan DVA dan variasi massa DVA. *Output* merupakan hasil yang didapatkan dalam penelitian ini, yaitu berupa reduksi getaran pada sistem utama.

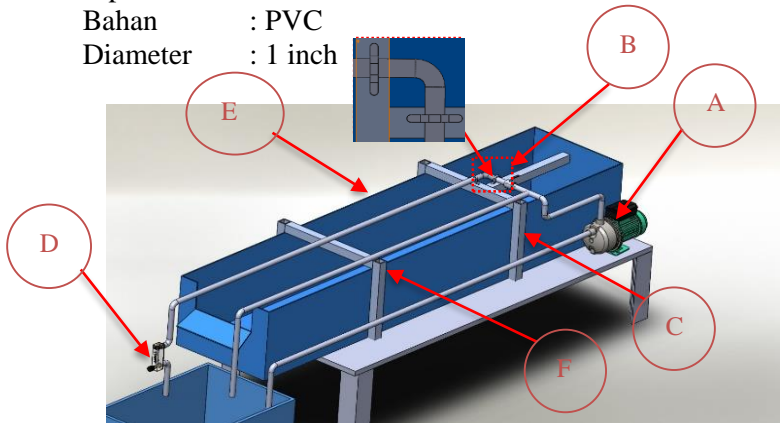
3.2.3 Rancangan Sistem

Rancangan sistem dalam penelitian tugas akhir ini terdiri dari perancangan sistem utama dan perancangan mekanisme DVA seperti berikut ini.

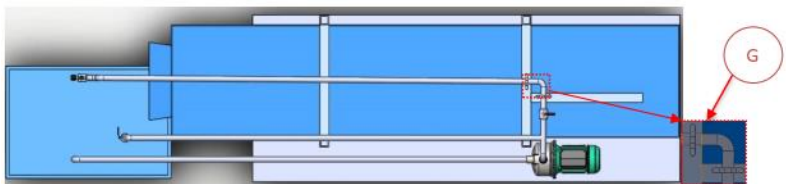
1. Perancangan Mekanisme Sistem Utama

Penelitian tugas akhir ini, dilakukan dengan mengalirkan sumber gaya eksitasi dari fluida air dari pompa yang mengenai pipa *elbow* 90°. Berikut merupakan spesifikasi dari pipa *elbow* 90° yang digunakan. Dimana rangkain sistem perpipaan tampak samping dan atas dapat dilihat pada gambar 3.2 dan 3.3. Serta sistem utama yang di analisa dapat dilihat pada gambar 3.4 (a) dan (b) berupa *elbow* 90°.

Jenis pipa : Pipa *elbow* 90°
 Merk : Wavin
 Tipe : AW
 Bahan : PVC
 Diameter : 1 inch



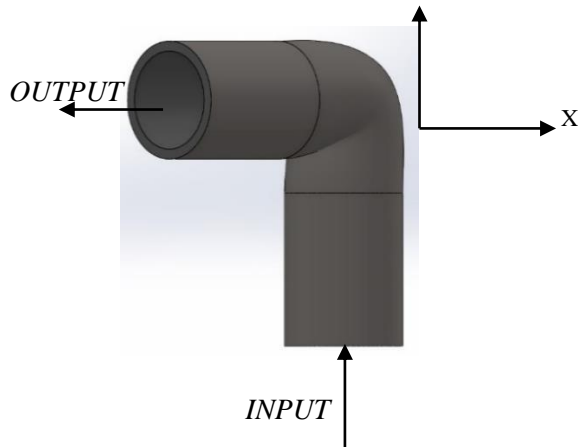
Gambar 3.2 Rangkaian sistem perpipaan tampak samping



Gambar 3.3 Rangkaian sitem perpipaan tampak atas

Keterangan:

- A. Pompa Sentrifugal
- B. Ball Valve
- C. Pipa
- D. *Flowmeter*
- E. Bak Air
- F. Penyangga
- G. Sistem Utama berupa pipa *elbow* 90°



Gambar 3.4 Sistem utama yang di analisa (Pipa *elbow* 90°)

2. Perancangan Mekanisme DVA

Penelitian tugas akhir ini, dilakukan dengan merancang DVA berupa *ring mass-rubber beam-clamp* yang dapat dilihat pada gambar 3.5 dimana DVA digunakan untuk meredam getaran yang terjadi pada pipa *elbow* 90°. Pada penelitian tugas akhir ini dirancang DVA *beam* berfungsi sebagai pegas *absorber* dengan nilai kekakuan tertentu. Kekakuan tersebut merupakan fungsi dari inersia, panjang, lebar, tebal, dan elastisitas. Dari persamaan 3.1 hingga 3.3 dibawah maka diperoleh dimensi dari *beam* yang digunakan dalam DVA. Pada *beam* berlaku rumus inersia sebagai berikut.

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (3.1)$$

Keterangan:

I = nilai inersia

b = lebar *beam*

h = tebal *beam*

Sedangkan penentuan dimensi dari sistem DVA dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$K_{absorber} = \frac{3EI}{L^3} \quad (3.2)$$

Sehingga didapatkan :

$$L = \sqrt[3]{\frac{3EI}{K_{absorber}}} \quad (3.3)$$

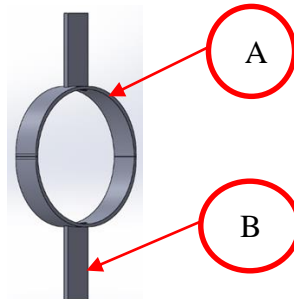
Keterangan :

L = Panjang *beam*

I = Inersia *beam*

K = Koefisien pegas pada *beam*

E = Modulus elastisitas bahan *beam*



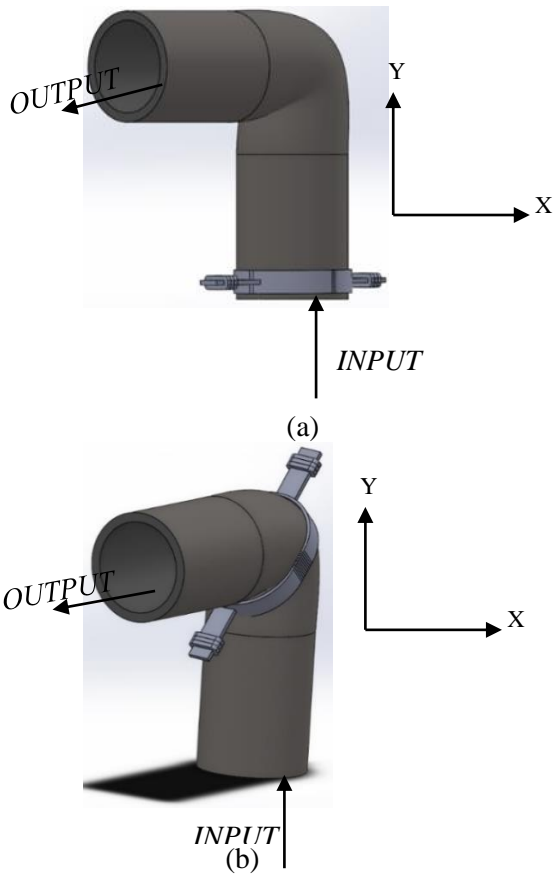
Gambar 3.5 Rancangan DVA

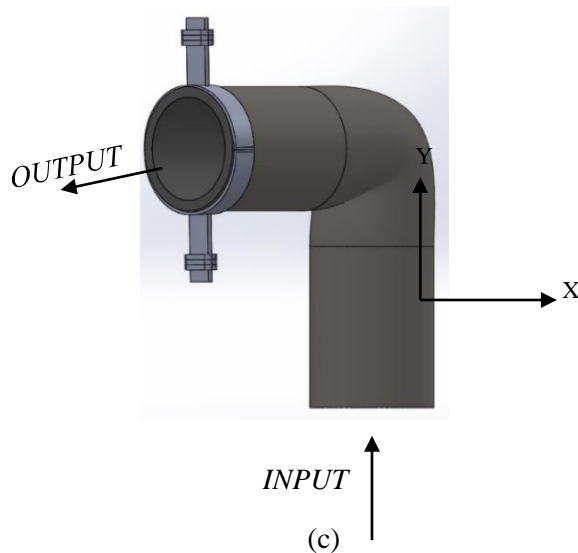
Keterangan:

A. ring mass

B. rubber beam

Pemasangan DVA pada sistem utama dapat dilihat pada gambar 3.6 (a),(b) dan (c). Dimana pada gambar 3.6 (a) DVA diletakkan pada *input* dari sistem utama, pada gambar 3.6 (b) DVA diletakkan pada *bend* dari sistem utama dan gambar 3.6 (c) DVA diletakkan pada *output* dari sistem utama. Setiap variasi peletakkan DVA berjarak 40 mm dari titik *bend* , ke arah y (*output*) , ke arah x (*input*).

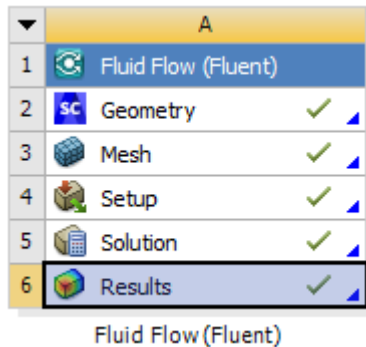




Gambar 3.6 Pemasangan DVA pada sistem utama (Pipa elbow 90°) di (a) *Input*, (b) *Bend* dan (c) *Output*

3.2.4 Pemodelan Simulasi Aliran Dalam Pipa Elbow

Untuk mengetahui besarnya getaran yang dihasilkan oleh aliran fluida, maka perlu dilakukan simulasi aliran itu sendiri. Simulasi aliran dilakukan menggunakan software Fluent ANSYS dengan analisa transient flow. Alur simulasi pada Workbench ANSYS ditunjukkan pada gambar 3.5, dimana analisis yang digunakan adalah *Fluid Flow* (Fluent). Disimulasikan aliran *turbulen* dengan analisa *k-epsilon reliable wall* dan dengan parameter yang dijelaskan pada halaman selanjutnya. Hasil dari simulasi ini adalah *output* gaya arah sumbu y dan arah sumbu x. Dimana nilai dari gaya terhadap waktu tersebut nantinya digunakan untuk *input* gaya eksitasi pada simulasi Simulink Matlab.



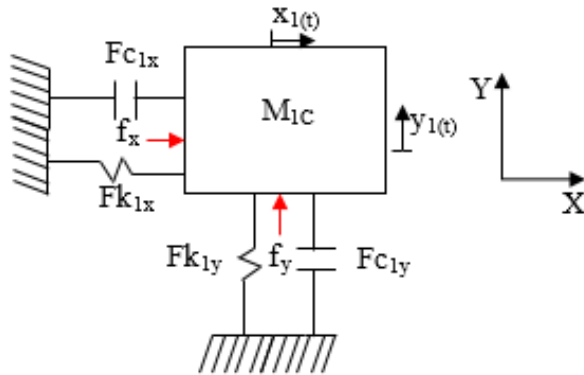
Gambar 3.7 Skema analisis Workbench *Ansys fluent*

3.2.5 Model Dinamis dan Persamaan Gerak

Berdasarkan rancangan sistem utama dan DVA yang telah dibuat, dilakukan pemodelan sistem dinamis untuk sistem utama tanpa DVA dan sistem utama setelah penambahan DVA.

3.2.5.1 Model Dinamis dan Persamaan Gerak Sistem Utama (Pipa *Elbow*) Tanpa Penambahan DVA

Rancangan sistem untuk sistem utama tanpa adanya penambahan DVA dapat dilihat pada gambar 3.4 (a) dan (b). Pada gambar 3.8 dibawah ini merupakan model dinamis dari sistem utama tanpa penambahan DVA dengan arah gerak translasi ke arah sumbu x dan y.



Gambar 3.8 Model dinamis sistem utama tanpa penambahan DVA

Keterangan :

M_1 : Massa utama

F_x : Gaya eksitasi pada sistem utama sumbu x

F_y : Gaya eksitasi pada sistem utama sumbu y

k_{1x} : Konstanta pegas dari massa utama arah x

k_{1y} : Konstanta pegas dari massa utama arah y

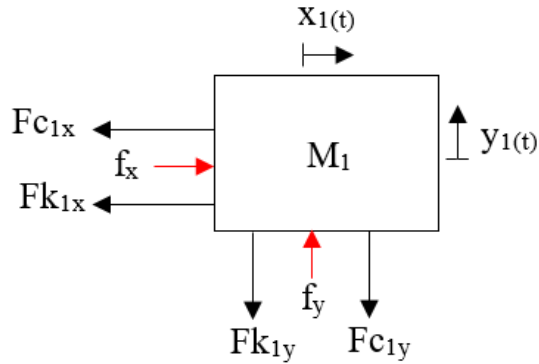
c_{1x} : Konstanta *damping* massa utama arah x

c_{1y} : Konstanta *damping* massa utama arah y

$x_{1(t)}$: Perpindahan massa utama arah x

$y_{1(t)}$: Perpindahan massa utama arah y

Berdasarkan model dinamis yang telah diketahui, dibuat *free body diagram* (FBD) dari massa utama sehingga dapat diketahui persamaan gerak translasi dari sistem utama tanpa penambahan DVA sebagai berikut:



Gambar 3.9 *Free body diagram* sistem utama tanpa penambahan DVA

Keterangan :

F_x : Gaya eksitasi pada sistem utama sumbu x

F_y : Gaya eksitasi pada sistem utama sumbu y

Fk_{1x} : Gaya pegas dari massa utama arah x

Fk_{1y} : Gaya pegas dari massa utama arah y

Fc_{1x} : Gaya redam dari massa utama arah x

Fc_{1y} : Gaya redam dari massa utama arah y

$x_{1(t)}$: Perpindahan massa utama arah x

$y_{1(t)}$: Perpindahan massa utama arah y

Dimana besarnya masing-masing gaya yaitu:

$$Fk_{1x} = k_1 x_1$$

$$Fk_{1y} = k_1 y_1$$

$$Fc_{1x} = c_1 \dot{x}_1$$

$$Fc_{1y} = c_1 \dot{y}_1$$

Berdasarkan *free body diagram* gambar 3.9, akan didapatkan persamaan gerak translasi terhadap sumbu x dan sumbu y pada massa utama (m_1) sebagai berikut:

Persamaan gerak translasi massa utama (m_1) terhadap sumbu x:

$$\rightarrow \Sigma F = m_1 \ddot{x}_1$$

$$\begin{aligned}
 f_x - Fk_{1x} - Fc_{1x} &= m_1 \ddot{x}_1 \\
 m_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 + c_1 \dot{x}_1 &= f_x
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

Persamaan gerak translasi massa utama (m_1) terhadap sumbu y:

$$\begin{aligned}
 +\uparrow \Sigma F &= m_1 \ddot{y}_1 \\
 f_y - Fk_{1y} - Fc_{1y} &= m_1 \ddot{y}_1 \\
 m_1 \ddot{y}_1 + k_1 y_1 + c_1 \dot{y}_1 &= f_y
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

Persamaan masing-masing massa dapat digabungkan menggunakan matriks, sehingga didapat persamaan gerak sistem utama tanpa DVA berupa matriks sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \begin{pmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_1 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \end{Bmatrix} + \begin{pmatrix} k_1 & 0 \\ 0 & k_1 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{Bmatrix} + \begin{pmatrix} c_1 & 0 \\ 0 & c_1 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{y}_1 \end{Bmatrix} \\
 = \begin{pmatrix} f_x \\ f_y \end{pmatrix}
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

Dimana

:

$$\begin{aligned}
 x &= x \sin(\omega t + \phi) \\
 y &= y \sin(\omega t + \phi) \\
 \dot{x} &= -\omega^2 x \sin(\omega t + \phi) \\
 \dot{y} &= -\omega^2 y \sin(\omega t + \phi)
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan frekuensi natural dengan analisa fundamental, dimana nilai dari $[C]$ dan $[f] = 0$. Maka matrix 3.3 menjadi berikut ini :

$$\left[\begin{pmatrix} -m_1 \omega^2 & 0 \\ 0 & -m_1 \omega^2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} k_1 & 0 \\ 0 & k_1 \end{pmatrix} \right] \begin{Bmatrix} x \sin[\omega t + \phi] \\ y \sin[\omega t + \phi] \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} k_1 - m_1 \omega^2 & 0 \\ 0 & k_1 - m_1 \omega^2 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} x \sin[\omega t + \phi] \\ y \sin[\omega t + \phi] \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$\det \begin{vmatrix} k_1 - m_1 \omega^2 & 0 \\ 0 & k_1 - m_1 \omega^2 \end{vmatrix} = 0$$

$$k_1^2 \pm 2k_1 m_1 \omega^2 + m_1^2 \omega^4 = 0$$

$$\lambda = \omega^2$$

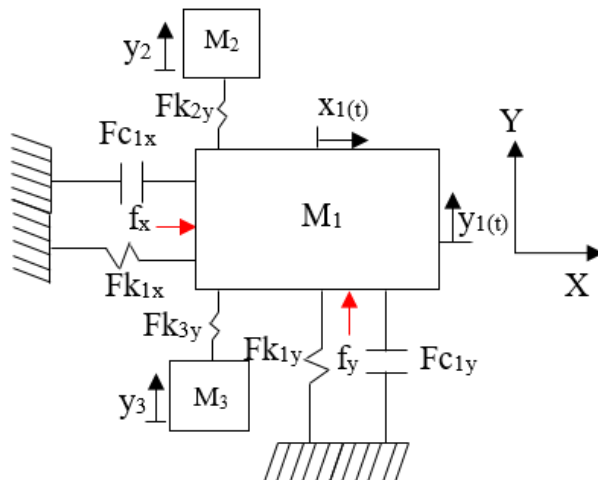
$$k_1^2 - 2k_1 m_1 \lambda + m_1^2 \lambda^2 = 0$$

$$\lambda_{1,2} = \pm \frac{k_1}{m_1}$$

$$\omega_{1,2} = \sqrt{\frac{k_1}{m_1}}$$

3.2.5.2 Model Dinamis dan Persamaan Gerak Sistem Utama dengan Posisi Penambahan DVA berada di *Input* dari Sistem Utama (Pipa *Elbow*)

Rancangan sistem untuk sistem utama dengan penambahan DVA dapat dilihat pada gambar 3.6 (a). Pada gambar 3.10 merupakan model dinamis dari sistem utama dan penambahan DVA dengan arah gerak translasi ke arah sumbu x dan y serta posisi peletakan DVA berada pada *input* dari sistem utama (Pipa *elbow*).



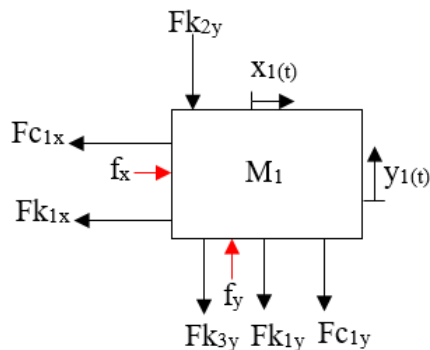
Gambar 3.10 Model dinamis sistem utama dengan penambahan DVA yang berada pada *input* dari sistem utama

Keterangan :

- M_1 : Massa utama
 M_2 : Massa DVA
 M_3 : Massa DVA
 F_x : Gaya eksitasi pada sistem utama sumbu x
 F_y : Gaya eksitasi pada sistem utama sumbu y
 k_{1x} : Konstanta pegas dari massa utama arah x
 k_{1y} : Konstanta pegas dari massa utama arah y
 c_{1x} : Konstanta *damping* massa utama arah x
 c_{1y} : Konstanta *damping* massa utama arah y
 k_{2y} : Konstanta pegas dari DVA arah y
 k_{3y} : Konstanta pegas dari DVA arah y
 $x_{1(t)}$: Perpindahan massa utama arah x
 $y_{1(t)}$: Perpindahan massa utama arah y
 y_2 : Perpindahan DVA arah y
 y_3 : Perpindahan DVA arah y

Berdasarkan model dinamis yang telah diketahui, dibuat *free body diagram* (FBD) dari massa utama dengan penambahan DVA berada pada *input* dari sistem utama (Pipa *elbow*), sehingga dapat diketahui persamaan gerak translasi x dan y dari massa utama dengan penambahan DVA sebagai berikut :

1. *Free body diagram* dari massa utama (M_1)



Gambar 3.11 *Free body diagram* sistem utama dengan penambahan DVA

Keterangan :

M_1 : Massa utama

F_x : Gaya eksitasi pada sistem utama sumbu x

F_y : Gaya eksitasi pada sistem utama sumbu y

Fk_{1x} : Gaya pegas dari massa utama arah x

Fk_{1y} : Gaya pegas dari massa utama arah y

Fc_{1x} : Gaya redam dari massa utama arah x

Fc_{1y} : Gaya redam dari massa utama arah y

Fk_{2y} : Gaya pegas dari DVA (M_2) arah y

Fk_{3y} : Gaya pegas dari DVA (M_3) arah y

$x_{1(0)}$: Perpindahan massa utama arah x

$y_{1(0)}$: Perpindahan massa utama arah y

y_2 : Perpindahan DVA arah y

y_3 : Perpindahan DVA arah y

Dimana besarnya masing-masing gaya yaitu:

$$Fk_{1x} = k_1 x_1$$

$$Fk_{1y} = k_1 y_1$$

$$Fc_{1x} = c_1 \dot{x}_1$$

$$Fc_{1y} = c_1 \dot{y}_1$$

$$Fk_{2y} = k_2 (y_1 - y_2)$$

$$Fk_{3y} = k_3 (y_1 - y_3)$$

Berdasarkan *free body diagram* gambar 3.11, didapatkan persamaan gerak translasi terhadap sumbu x dan sumbu y pada massa utama (m_1) sebagai berikut:

Persamaan gerak translasi massa utama (m_1) terhadap sumbu x:

$$\rightarrow \Sigma F = m_1 \ddot{x}_1$$

$$+ f_x - Fk_{1x} - Fc_{1x} = m_1 \ddot{x}_1$$

$$m_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 + c_1 \dot{x}_1 = f_x \quad (3.7)$$

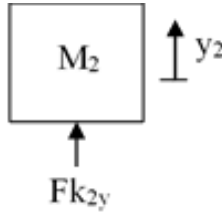
Persamaan gerak translasi massa utama (m_1) terhadap sumbu y:

$$+\uparrow \Sigma F = m_1 \ddot{y}_1$$

$$f_y - Fk_{1y} - Fc_{1y} - Fk_{2y} - Fk_{3y} = m_1 \ddot{y}_1$$

$$m_1 \ddot{y}_1 + (k_1 + k_2 + k_3)y_1 + c_1 \dot{y}_1 - k_2 y_2 - k_3 y_3 = f_y \quad (3.8)$$

2. *Free body diagram* dari massa DVA (M_2)



Gambar 3.12 *Free body diagram* massa DVA (M_2)

Keterangan :

M_2 : Massa DVA

Fk_{2y} : Gaya pegas dari DVA (M_2) arah y

y_2 : Perpindahan DVA arah y

Dimana besarnya masing-masing gaya yaitu:

$$Fk_{2y} = k_2(y_1 - y_2)$$

Berdasarkan *free body diagram* gambar 3.12, didapatkan persamaan gerak translasi terhadap sumbu y pada massa DVA (m_2) sebagai berikut:

Persamaan gerak translasi massa DVA (m_2) terhadap sumbu y :

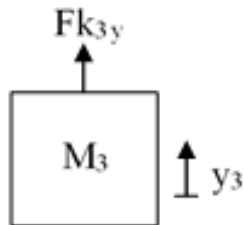
$$+\uparrow \Sigma F = m_2 \ddot{y}_2$$

$$Fk_{2y} = m_2 \ddot{y}_2$$

$$m_2 \ddot{y}_2 - k_2(y_1 - y_2) = 0$$

$$m_2 \ddot{y}_2 + k_2 y_2 - k_2 y_1 = 0 \quad (3.9)$$

3. *Free body diagram* dari massa DVA (M_3)



Gambar 3.13 *Free body diagram* massa DVA (M_3)

Keterangan :

M_3 : Massa DVA

Fk_{3y} : Gaya pegas dari DVA (M_3) arah y

y_3 : Perpindahan DVA arah y

Dimana besarnya masing-masing gaya yaitu:

$$Fk_{3y} = k_3(y_1 - y_3)$$

Berdasarkan *free body diagram* gambar 3.13, didapatkan persamaan gerak translasi terhadap sumbu y pada massa DVA (m_3) sebagai berikut:

Persamaan gerak translasi massa DVA (m_3) terhadap sumbu y :

$$+\uparrow \Sigma F = m_3 \ddot{y}_3$$

$$Fk_{3y} = m_3 \ddot{y}_3$$

$$m_3 \ddot{y}_3 - k_3(y_1 - y_3) = 0$$

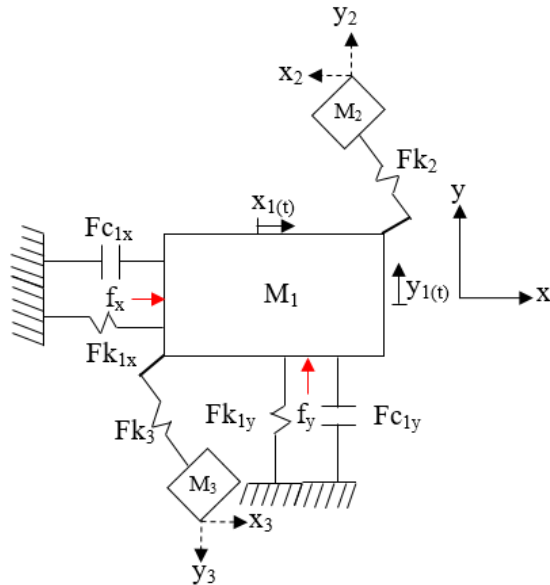
$$m_3 \ddot{y}_3 - k_3 y_1 + k_3 y_3 = 0 \quad (3.10)$$

Persamaan masing-masing massa dapat digabungkan menggunakan matriks, sehingga didapat persamaan gerak sistem utama dengan penambahan DVA berada pada *input* dari sistem utama (Pipa *elbow*) berupa matriks sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
& \begin{pmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{pmatrix} \\
& + \begin{pmatrix} c_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{pmatrix} \\
& + \begin{pmatrix} k_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & (k_1 + k_2 + k_3) & -k_2 & -k_3 \\ 0 & -k_2 & k_2 & 0 \\ 0 & -k_3 & 0 & k_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix} \\
& = \begin{pmatrix} f_x \\ f_y \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \tag{3.11}
\end{aligned}$$

3.2.5.3 Model Dinamis dan Persamaan Gerak Sistem Utama dengan Posisi Penambahan DVA berada di *Bend* dari Sistem Utama (Pipa *Elbow*)

Rancangan sistem untuk sistem utama dengan penambahan DVA dapat dilihat pada gambar 3.6 (b). Pada gambar 3.14 merupakan model dinamis dari sistem utama dengan penambahan DVA berada pada *bend* dari sistem utama yang nantinya di proyeksikan terhadap sumbu x dan y.



Gambar 3.14 Model dinamis sistem utama dengan penambahan DVA yang berada pada *bend* dari sistem utama

Keterangan :

M_1 : Massa utama

M_2 : Massa DVA

M_3 : Massa DVA

F_x : Gaya eksitasi pada sistem utama sumbu x

F_y : Gaya eksitasi pada sistem utama sumbu y

k_{1x} : Konstanta pegas dari massa utama arah x

k_{1y} : Konstanta pegas dari massa utama arah y

c_{1x} : Konstanta *damping* massa utama arah x

c_{1y} : Konstanta *damping* massa utama arah y

$x_1(t)$: Perpindahan massa utama arah x

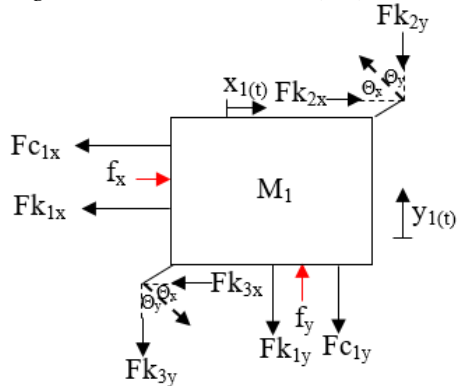
$y_1(t)$: Perpindahan massa utama arah y

Dimana perpindahan DVA di proyeksikan ke arah sumbu x dan y, sehingga perpindahan dan konstanta kekakuan pegas dari DVA dapat didefinisikan sebagai berikut :

- x_2 : Perpindahan DVA arah x sebesar $\cos 45^\circ$
- x_3 : Perpindahan DVA arah x sebesar $\cos 45^\circ$
- y_2 : Perpindahan DVA arah y sebesar $\sin 45^\circ$
- y_3 : Perpindahan DVA arah y sebesar $\sin 45^\circ$
- k_{2x} : Konstanta pegas dari DVA arah x sebesar $\cos 45^\circ$
- k_{3x} : Konstanta pegas dari DVA arah x sebesar $\cos 45^\circ$
- k_{2y} : Konstanta pegas dari DVA arah y sebesar $\sin 45^\circ$
- k_{3y} : Konstanta pegas dari DVA arah y sebesar $\sin 45^\circ$

Berdasarkan model dinamis yang telah diketahui, dibuat *free body diagram* (FBD) dari massa utama dengan penambahan DVA berada pada *bend* dari sistem utama (Pipa *elbow*), sehingga dapat diketahui persamaan gerak translasi x dan y dari massa utama dengan penambahan DVA sebagai berikut :

1. *Free body diagram* dari massa utama (M_1)



Gambar 3.15 *Free body diagram* sistem utama dengan penambahan DVA

Keterangan :

- M_1 : Massa utama
 M_2 : Massa DVA
 M_3 : Massa DVA
 F_x : Gaya eksitasi pada sistem utama sumbu x
 F_y : Gaya eksitasi pada sistem utama sumbu y
 k_{1x} : Konstanta pegas dari massa utama arah x
 k_{1y} : Konstanta pegas dari massa utama arah y
 c_{1x} : Konstanta *damping* massa utama arah x
 c_{1y} : Konstanta *damping* massa utama arah y
 $x_{1(t)}$: Perpindahan massa utama arah x
 $y_{1(t)}$: Perpindahan massa utama arah y
 k_{2x} : Konstanta pegas dari DVA arah x sebesar $\cos 45^\circ$
 k_{3x} : Konstanta pegas dari DVA arah x sebesar $\cos 45^\circ$
 k_{2y} : Konstanta pegas dari DVA arah y sebesar $\sin 45^\circ$
 k_{3y} : Konstanta pegas dari DVA arah y sebesar $\sin 45^\circ$

Dimana besarnya masing-masing gaya yaitu :

$$\begin{aligned}
 Fk_{1x} &= k_1 x_1 \\
 Fk_{1y} &= k_1 y_1 \\
 Fc_{1x} &= c_1 \dot{x}_1 \\
 Fc_{1y} &= c_1 \dot{y}_1 \\
 Fk_{2x} &= k_2 ((x_2 \cos 45^\circ) - x_1) \\
 Fk_{2y} &= k_2 (y_1 - (y_2 \sin 45^\circ)) \\
 Fk_{3x} &= k_3 (x_1 - (x_3 \cos 45^\circ)) \\
 Fk_{3y} &= k_3 ((y_3 \sin 45^\circ) - y_1)
 \end{aligned}$$

Berdasarkan *free body diagram* gambar 3.15, didapatkan persamaan gerak translasi terhadap sumbu x dan sumbu y pada massa utama (m_1) sebagai berikut:

Persamaan gerak translasi massa utama (m_1) terhadap sumbu x:

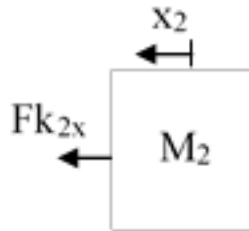
$$\begin{aligned}
 \rightarrow \Sigma F &= m_1 \ddot{x}_1 \\
 + \\
 f_x - Fk_{1x} - Fc_{1x} + Fk_{2x} - Fk_{3x} &= m_1 \ddot{x}_1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 + c_1 \dot{x}_1 - k_2 (x_2 \cos 45^\circ - x_1) \\
 + k_3 (x_1 - (x_3 \cos 45^\circ)) &= f_x \\
 m_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 + c_1 \dot{x}_1 + k_2 x_1 - (k_2 \cos 45^\circ) x_2 \\
 + k_3 x_1 - (k_3 \cos 45^\circ) x_3 &= f_x \\
 m_1 \ddot{x}_1 + (k_1 + k_2 + k_3) x_1 + c_1 \dot{x}_1 - (k_2 \cos 45^\circ) x_2 \\
 - (k_3 \cos 45^\circ) x_3 &= f_x
 \end{aligned} \tag{3.12}$$

Persamaan gerak translasi massa utama (m_1) terhadap sumbu y:

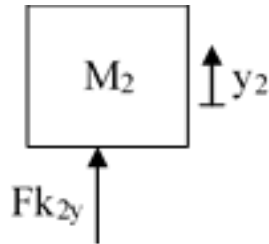
$$\begin{aligned}
 +\uparrow \Sigma F &= m_1 \ddot{y}_1 \\
 f_y - Fk_{1y} - Fc_{1y} - Fk_{2y} + Fk_{3y} &= m_1 \ddot{y}_1 \\
 m_1 \ddot{y}_1 + k_1 y_1 + c_1 \dot{y}_1 + k_2 (y_1 - (y_2 \sin 45^\circ)) \\
 - k_3 ((y_3 \sin 45^\circ) - y_1) &= f_y \\
 m_1 \ddot{y}_1 + k_1 y_1 + c_1 \dot{y}_1 + k_2 y_1 - (k_2 \sin 45^\circ) y_2 \\
 + k_3 y_1 - (k_3 \sin 45^\circ) y_3 &= f_y \\
 m_1 \ddot{y}_1 + (k_1 + k_2 + k_3) y_1 + c_1 \dot{y}_1 - (k_2 \sin 45^\circ) y_2 \\
 - (k_3 \sin 45^\circ) y_3 &= f_y
 \end{aligned} \tag{3.13}$$

2. *Free body diagram* dari massa DVA (M_2)



Gambar 3.16 *Free body diagram* massa DVA (M_2) arah sumbu

x



Gambar 3.17 *Free body diagram* massa DVA (M_2) arah sumbu y

Keterangan :

M_2 : Massa DVA

x_2 : Perpindahan DVA arah x sebesar $\cos 45^\circ$

y_2 : Perpindahan DVA arah y sebesar $\sin 45^\circ$

Fk_{2x} : Gaya pegas dari DVA (M_2) arah x sebesar $\cos 45^\circ$

Fk_{2y} : Gaya pegas dari DVA (M_2) arah y sebesar $\sin 45^\circ$

Dimana besarnya masing-masing gaya yaitu:

$$Fk_{2x} = k_2((x_2 \cos 45^\circ) - x_1)$$

$$Fk_{2y} = k_2(y_1 - (y_2 \sin 45^\circ))$$

Berdasarkan *free body diagram* gambar 3.16 dan 3.17, didapatkan persamaan gerak translasi terhadap sumbu x dan y pada massa DVA (m_2) sebagai berikut:

Persamaan gerak translasi massa DVA (m_2) terhadap sumbu x :

$$\rightarrow \Sigma F = m_2 \ddot{x}_2$$

$$-Fk_{2x} = m_2 \ddot{x}_2$$

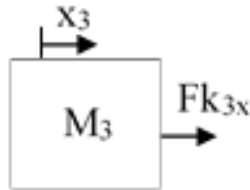
$$m_2 \ddot{x}_2 + k_2((x_2 \cos 45^\circ) - x_1) = 0$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + (k_2 \cos 45^\circ)x_2 - k_2 x_1 = 0 \quad (3.14)$$

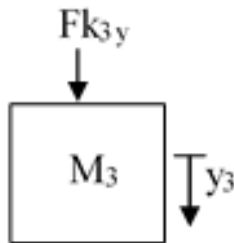
Persamaan gerak translasi massa DVA (m_2) terhadap sumbu y :

$$\begin{aligned}
 +\uparrow \Sigma F &= m_2 \dot{y}_2 \\
 Fk_{2y} &= m_2 \ddot{y}_2 \\
 m_2 \ddot{y}_2 - k_2 (y_1 - (y_2 \sin 45^\circ)) &= 0 \\
 m_2 \ddot{y}_2 + (k_2 \sin 45^\circ) y_2 - k_2 y_1 &= 0
 \end{aligned} \tag{3.15}$$

3. *Free body diagram* dari massa DVA (M_3)



Gambar 3.18 *Free body diagram* massa DVA (M_3) arah sumbu x



Gambar 3.19 *Free body diagram* massa DVA (M_3) arah sumbu y

Keterangan :

M_3 : Massa DVA

x_3 : Perpindahan DVA arah x sebesar $\cos 45^\circ$

y_3 : Perpindahan DVA arah y sebesar $\sin 45^\circ$

Fk_{3x} : Gaya pegas dari DVA (M_3) arah x sebesar $\cos 45^\circ$

Fk_{3y} : Gaya pegas dari DVA (M_3) arah y sebesar $\sin 45^\circ$

Dimana besarnya masing-masing gaya yaitu:

$$Fk_{3x} = k_3(x_1 - (x_3 \cos 45^\circ))$$

$$Fk_{3y} = k_3((y_3 \sin 45^\circ) - y_1)$$

Berdasarkan *free body diagram* gambar 3.18 dan 3.19, didapatkan persamaan gerak translasi terhadap sumbu x dan y pada massa DVA (m_3) sebagai berikut:

Persamaan gerak translasi massa DVA (m_3) terhadap sumbu x:

$$\rightarrow \Sigma F = m_3 \ddot{x}_3$$

$$Fk_{3x} = m_3 \ddot{x}_3$$

$$m_3 \ddot{x}_3 - k_3(x_1 - (x_3 \cos 45^\circ)) = 0$$

$$m_3 \ddot{x}_3 + (k_3 \cos 45^\circ)x_3 - k_3 x_1 = 0 \quad (3.16)$$

Persamaan gerak translasi massa DVA (m_3) terhadap sumbu y:

$$+\uparrow \Sigma F = m_3 \ddot{y}_3$$

$$-Fk_{3y} = m_3 \ddot{y}_3$$

$$m_3 \ddot{y}_3 + k_3 ((y_3 \sin 45^\circ) - y_1) = 0$$

$$m_3 \ddot{y}_3 + (k_3 \sin 45^\circ)y_3 - k_3 y_1 = 0 \quad (3.17)$$

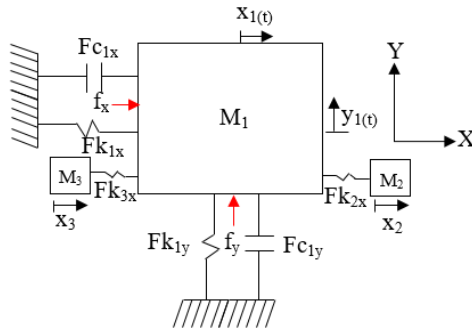
Persamaan masing-masing massa dapat digabungkan menggunakan matriks, sehingga didapat persamaan gerak sistem utama dengan penambahan DVA berada pada *bend* dari sistem utama (Pipa *elbow*) berupa matriks sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
& \begin{pmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_3 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \\ \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{Bmatrix} \\
& + \begin{pmatrix} c_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{Bmatrix} \\
& + \begin{pmatrix} (k_1 + k_2 + k_3) & -k_2 \cos 45^\circ & -k_3 \cos 45^\circ & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 \cos 45^\circ & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k_3 & 0 & k_3 \cos 45^\circ & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (k_1 + k_2 + k_3) & -k_2 \sin 45^\circ & -k_3 \sin 45^\circ \\ 0 & 0 & 0 & -k_2 & k_2 \sin 45^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -k_3 & 0 & k_3 \sin 45^\circ \end{pmatrix} \\
& \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} f_x \\ 0 \\ 0 \\ f_y \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \tag{3.18}
\end{aligned}$$

3.2.5.4 Model Dinamis dan Persamaan Gerak Sistem Utama dengan Posisi Penambahan DVA berada di *Output* dari Sistem Utama (Pipa *Elbow*)

Rancangan sistem untuk sistem utama dengan penambahan DVA dapat dilihat pada gambar 3.6 (c). Pada gambar 3.20 merupakan model dinamis dari sistem utama dan penambahan DVA dengan arah gerak translasi ke arah sumbu x dan y serta

posisi peletakan DVA berada pada *output* dari sistem utama (Pipa *elbow*).



Gambar 3.20 Model dinamis sistem utama dengan penambahan DVA yang berada pada *output* dari sistem utama

Keterangan :

M_1 : Massa utama

M_2 : Massa DVA

M_3 : Massa DVA

F_x : Gaya eksitasi pada sistem utama sumbu x

F_y : Gaya eksitasi pada sistem utama sumbu y

k_{1x} : Konstanta pegas dari massa utama arah x

k_{1y} : Konstanta pegas dari massa utama arah y

c_{1x} : Konstanta *damping* massa utama arah x

c_{1y} : Konstanta *damping* massa utama arah y

k_{2x} : Konstanta pegas dari DVA arah x

k_{3x} : Konstanta pegas dari DVA arah x

x_1 : Perpindahan massa utama arah x

x_2 : Perpindahan DVA arah x

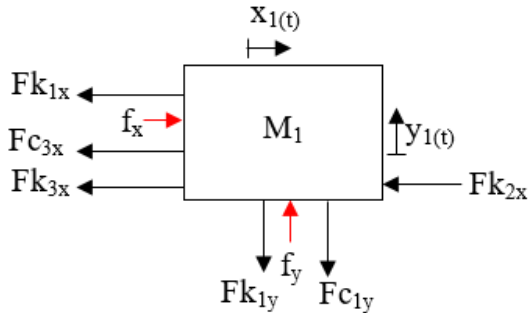
x_3 : Perpindahan DVA arah x

$y_{1(t)}$: Perpindahan massa utama arah y

Berdasarkan model dinamis yang telah diketahui, dibuat *free body diagram* (FBD) dari massa utama dengan penambahan DVA berada pada *output* dari sistem utama (Pipa *elbow*), sehingga dapat

diketahui persamaan gerak translasi x dan y dari massa utama dengan penambahan DVA sebagai berikut :

1. *Free body diagram* dari massa utama (M_1)



Gambar 3.21 *Free body diagram* sistem utama dengan penambahan DVA

Keterangan :

M_1 : Massa utama

F_x : Gaya eksitasi pada sistem utama sumbu x

F_y : Gaya eksitasi pada sistem utama sumbu y

Fk_{1x} : Gaya pegas dari massa utama arah x

Fk_{1y} : Gaya pegas dari massa utama arah y

Fc_{1x} : Gaya redam dari massa utama arah x

Fc_{1y} : Gaya redam dari massa utama arah y

Fk_{2x} : Gaya pegas dari DVA (M_2) arah x

Fk_{3x} : Gaya pegas dari DVA (M_3) arah x

$x_{1(t)}$: Perpindahan massa utama arah x

x_2 : Perpindahan DVA arah x

x_3 : Perpindahan DVA arah x

$y_{1(t)}$: Perpindahan massa utama arah y

Dimana besarnya masing-masing gaya yaitu:

$$Fk_{1x} = k_1x_1$$

$$Fk_{1y} = k_1y_1$$

$$Fc_{1x} = c_1\dot{x}_1$$

$$Fc_{1y} = c_1\dot{y}_1$$

$$Fk_{2y} = k_2(x_1 - x_2)$$

$$Fk_{3y} = k_3(x_1 - x_3)$$

Berdasarkan *free body diagram* gambar 3.21, didapatkan persamaan gerak translasi terhadap sumbu x dan sumbu y pada massa utama (m_1) sebagai berikut:

Persamaan gerak translasi massa utama (m_1) terhadap sumbu x:

$$\rightarrow \Sigma F = m_1\ddot{x}_1$$

$$+ f_x - Fk_{1x} - Fc_{1x} - Fk_{2x} - Fk_{3x} = m_1\ddot{x}_1$$

$$f_x + k_1x_1 + c_1\dot{x}_1 + k_2(x_1 - x_2) + k_3(x_1 - x_3)$$

$$= m_1\ddot{x}_1$$

$$f_x + k_1x_1 + c_1\dot{x}_1 + k_2x_1 - k_2x_2 + k_3x_1 - k_3x_3$$

$$= m_1\ddot{x}_1$$

$$m_1\ddot{x}_1 + (k_1 + k_2 + k_3)x_1 - k_2x_2 - k_3x_3 = f_x \quad (3.19)$$

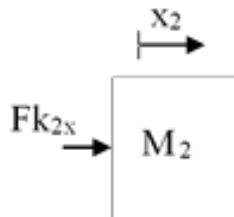
Persamaan gerak translasi massa utama (m_1) terhadap sumbu y:

$$+\uparrow \Sigma F = m_1\ddot{y}_1$$

$$f_y - Fk_{1y} - Fc_{1y} = m_1\ddot{y}_1$$

$$m_1\ddot{y}_1 + k_1y_1 + c_1\dot{y}_1 = f_y \quad (3.20)$$

2. *Free body diagram* dari massa DVA (M_2)



Gambar 3.22 *Free body diagram* massa DVA (M_2)

Keterangan :

M_2 : Massa DVA

Fk_{2x} : Gaya pegas dari DVA (M_2) arah x

$x_{1(t)}$: Perpindahan massa utama arah x

x_2 : Perpindahan DVA arah x

Dimana besarnya masing-masing gaya yaitu:

$$Fk_{2x} = k_2(x_1 - x_2)$$

Berdasarkan *free body diagram* gambar 3.22, didapatkan persamaan gerak translasi terhadap sumbu x pada massa DVA (m_3) sebagai berikut:

Persamaan gerak translasi massa DVA (m_3) terhadap sumbu x:

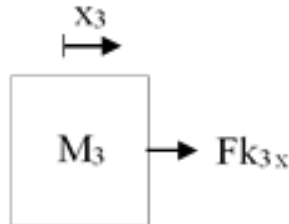
$$\rightarrow \Sigma F = m_2 \ddot{x}_2$$

$$+ Fk_{2x} = m_2 \ddot{x}_2$$

$$m_2 \ddot{x}_2 - k_2(x_1 - x_2) = 0$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + k_2 x_2 - k_2 x_1 = 0 \quad (3.21)$$

3. *Free body diagram* dari massa DVA (M_3)



Gambar 3.23 *Free body diagram* massa DVA (M_3)

Keterangan :

M_3 : Massa DVA

Fk_{3x} : Gaya pegas dari DVA (M_3) arah x

$x_{1(t)}$: Perpindahan massa utama arah x

x_3 : Perpindahan DVA arah x

Dimana besarnya masing-masing gaya yaitu:

$$Fk_{3x} = k_3(x_1 - x_3)$$

Berdasarkan *free body diagram* gambar 3.23, didapatkan persamaan gerak translasi terhadap sumbu x pada massa DVA (m_3) sebagai berikut:

Persamaan gerak translasi massa DVA (m_3) terhadap sumbu x:

$$\begin{aligned} \rightarrow \Sigma F &= m_3 \ddot{x}_3 \\ + Fk_{3x} &= m_3 \ddot{x}_3 \\ m_3 \ddot{x}_3 - k_3(x_1 - x_3) &= 0 \\ m_3 \ddot{x}_3 - k_3 x_1 + k_3 x_3 &= 0 \end{aligned} \quad (3.22)$$

Persamaan masing-masing massa dapat digabungkan menggunakan matriks, sehingga didapat persamaan gerak sistem utama dengan penambahan DVA berada pada *output* dari sistem utama (Pipa *elbow*) berupa matriks sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &\begin{pmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_1 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \\ \ddot{y}_1 \end{Bmatrix} \\ &+ \begin{pmatrix} c_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{y}_1 \end{Bmatrix} \\ &+ \begin{pmatrix} (k_1 + k_2 + k_3) & -k_2 & -k_3 & 0 \\ & -k_2 & k_2 & 0 \\ & -k_3 & 0 & k_3 \\ & 0 & 0 & k_1 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ y_1 \end{Bmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} f_x \\ 0 \\ 0 \\ f_y \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (3.23)$$

3.2.6 Penentuan Parameter Penelitian

Pada tugas akhir ini yang dianalisa adalah getaran yang terjadi pada pipa *elbow* 90° akibat dari fluida dan untuk mengatasi getaran yang terjadi dibuatlah DVA (Dynamic Vibration Absorber). Untuk menganalisa aliran di dalam di pipa *elbow* didalam simulasi ANSYS diperlukan beberapa parameter yang telah ditabelkan pada tabel 3.1 hingga tabel 3.3. Untuk simulasi pada simulink matlab diperlukan beberapa data pendukung berupa parameter-parameter yang ada dalam persamaan gerak. Parameter tersebut diantaranya adalah massa pipa, massa DVA, konstanta kekakuan, dan gaya eksitasi yang didapatkan dari hasil simulasi ANSYS.

Tabel 3.1 Dimensi Pipa^[7]

Parameter	Nilai
Jenis Pipa	PVC AW WAVIN
Diameter Pipa	1 inch
Ketebalan Pipa	0,1 mm

Tabel 3.2 Properties Pipa^[7]

Parameter	Nilai
Elastic modules	3000 N/mm ² (3 Gpa)
Poisson's ratio	0,410
Density	1400 kg/m ³

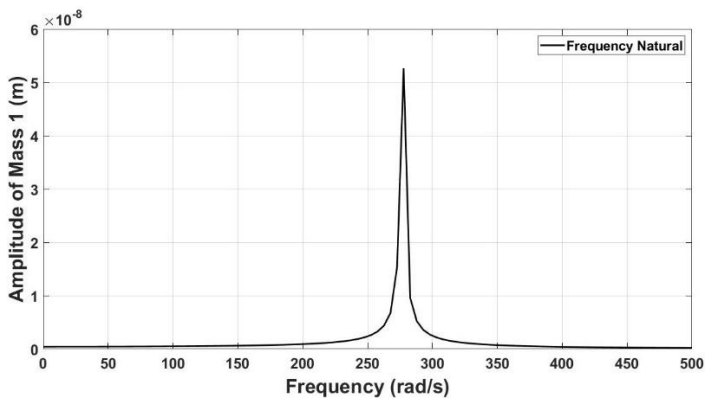
Tabel 3.3 Properties Fluida^[5]

Parameter	Nilai
Jenis Fluida	Water
Temperature	30°C
Density	996 kg/m ³
Dynamic viscosity	8 x 10 ⁻⁴ kg/m.s
Kinematic viscosity	8,03 x 10 ⁻⁷ m ² /s

3.2.6.1 Frekuensi Natural Sistem Utama

Frekuensi natural sistem utama perlu diketahui untuk melihat besarnya respon dari redaman sistem utama saat kondisi beresonansi. Sistem utama pada penelitian adalah pipa *elbow* 90°. Untuk mengetahui besarnya frekuensi natural sistem utama maka digunakan persamaan (3.24) berikut. Dari gambar 3.24 dapat diketahui besarnya frekuensi natural sistem utama adalah sebesar 276.6428 rad/s.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_{eq}}{m_{eq}}} \quad (3.24)$$



Gambar 3.24 Bodediagram Sistem Utama 2 DOF

3.2.6.2 Massa

Berdasarkan model dinamis yang telah dibuat terdapat dua massa yang ditinjau yaitu sistem utama berupa pipa *elbow* dan DVA. Perhitungan massa sistem dapat dilakukan sebagai berikut :

1. Massa Sistem Utama (M_1)

Massa sistem utama terdiri dari massa pipa dan massa air. Dimana untuk massa pipa dilakukan dengan menimbang menggunakan timbangan neraca dan massa air dilakukan dengan

melakukan perhitungan sebagai berikut.

a. Massa Pipa *elbow* 90°

Untuk mendapatkan massa pipa dilakukan dengan menimbang pipa dan clamp menggunakan timbangan neraca. Dari hasil menimbang tersebut didapatkan berat dari maassa pipa yaitu sebesar 73,5 gram,yang kemudian dikonversikan kedalam kilogram, sehingga nilai dari masa pipa yaitu sebesar 0,0735 kilogram.



Gambar 3.25 Massa utama(Pipa *elbow* 90°) dan clamp

b. Masss Air

Untuk mendapatkan massa air dilakukan perhitungan sebagai berikut ini.

$$M_{fluid} = v \times \rho \quad (3.25)$$

Dimana untuk nilai dari ρ air sebesar 1000 kg/m³ untuk nilai dari v didapatkan dari perhitungan sebagai berikut

$$v = A \times L \quad (3.26)$$

$$v = \left(\pi \left[\left(\frac{1}{4} \times D_i^2 \times SR \right) + \left(\frac{1}{4} \times D_i^2 \times L \right) + \left(\frac{1}{4} \times D_i^2 \times L \right) \right] \right) \quad (3.27)$$

$$v = \left(\pi \left[\left(\frac{1}{4} \times (0,0325m)^2 \times 0,0254m \right) + \left(\frac{1}{4} \times (0,0325m)^2 \times 0,04m \right) + \left(\frac{1}{4} \times (0,0325m)^2 \times 0,04m \right) \right] \right) \quad (3.28)$$

$$v = 8,743 \times 10^{-5} m^3 \quad (3.29)$$

Setelah mendapatkan nilai v , maka nilai v di substitusikan kedalam persamaan 3.25 sehingga menjadi persamaan 3.30.

$$M_{fluid} = 8,743 \times 10^{-5} m^3 \times 1000 \frac{kg}{m^3} = 0,08743 kg \quad (3.30)$$

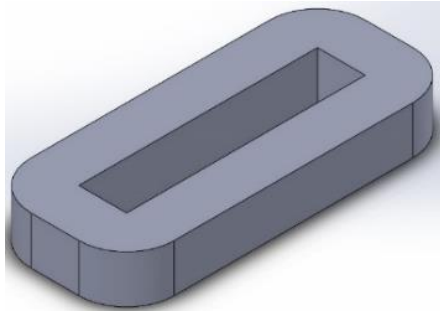
Dari hasil perhitungan massa pipa dan massa air yang telah dilakukan maka dilakukan penjumlahan antara masa pipa dan massa air sehingga nilai dari massa utama (M_1) sebagai berikut

$$M_1 = M_{pipa} + M_{air} \quad (3.31)$$

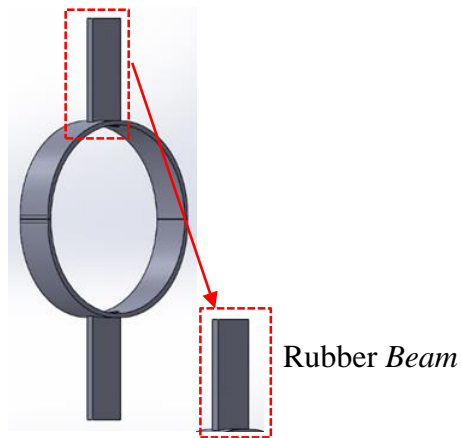
$$M_1 = 0,07355 kg + 0,08743 kg = 0,16 kilogram \quad (3.32)$$

2. Massa DVA (M_2 dan M_3)

Massa DVA yang di gunakan dalam penelitian ini berupa *ring mass-rubber beam-clamp* yang di variasikan menjadi 1/10, 1/20 dan 1/30 dari massa utama. Sehingga nilai dari 1/10 massa DVA yaitu 0,016 kilogram, 1/20 massa DVA yaitu 0,008 kilogram dan 1/30 massa DVA yaitu 0,0053 kilogram . Gambar 3.26 menunjukkan desain dari rancang bangun ring mass DVA dan Gambar 3.27 merupakan desain dari rancang bangun *beam* untuk DVA.



Gambar 3.26 Desain ring mass untuk rancang bangun DVA



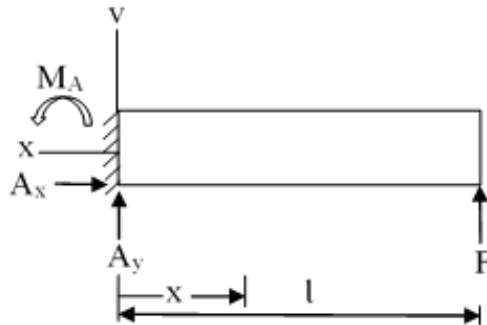
Gambar 3.27 Desain *beam* untuk rancang bangun DVA

3.2.6.3 Konstanta Kekakuan

Berdasarkan model dinamis yang telah dibuat terdapat konstanta kekakuan, dimana perhitungan konstanta kekakuan tersebut digunakan untuk sistem utama berupa pipa *elbow* dan DVA. Perhitungan konstanta dapat dilakukan sebagai berikut :

1. Konstanta Kekakuan Sistem Utama (K_1)

Pada proses getaran pada perpipaan, benda kerja mengalami defleksi yang berbeda akibat dari gaya eksitasi dari pergerakan air. FBD pada benda kerja dimodelkan seperti pada gambar 3.28, kemudian di Analisa gaya dan momen sehingga dapat diketahui nilai gaya reaksi dari benda kerja.



Gambar 3.28 *Free body diagram* benda kerja

- Gaya-gaya pada sumbu X

$$\begin{aligned} \vec{+} \Sigma F_x &= 0 \\ A_x &= 0 \end{aligned} \quad (3.33)$$

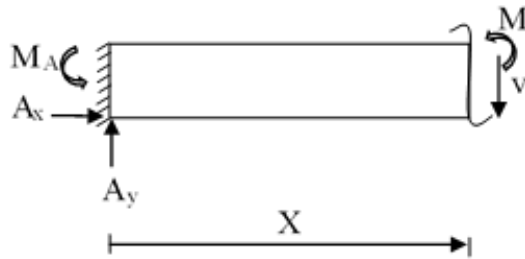
- Gaya-gaya pada sumbu Y

$$\begin{aligned} +\uparrow \Sigma F_y &= 0 \\ A_y &= -F \end{aligned} \quad (3.34)$$

- Momen pada titik A

$$\begin{aligned} +\curvearrowright \Sigma M_A &= 0 \\ M_A + F \times L &= 0 \\ M_A &= -F \times L \end{aligned} \quad (3.35)$$

Berdasarkan *free body diagram* pada gambar 3.28, dibuat potongan untuk menganalisa defleksi pada benda kerja yang ditunjukkan oleh gambar 3.29. Pada potongan yang telah dibuat dilakukan analisa gaya dan momen, sehingga dapat diketahui diagram gaya dan momen seperti pada gambar 3.30(a) dan 3.30(b).



Gambar 3.29 Potongan benda kerja ($0 \leq X \leq l$)

- Gaya-gaya pada sumbu Y

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$A_y - v = 0$$

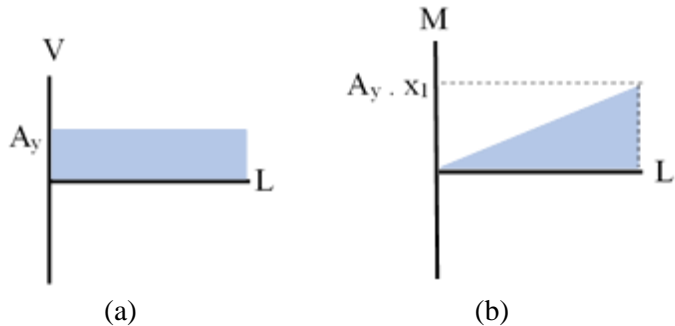
$$A_y = v \quad (3.36)$$
- Momen untuk ($0 \leq x \leq l$)

$$+\curvearrowright \Sigma M = 0$$

$$M_A - A_y \cdot x = 0$$

$$M_A = A_y \cdot x$$

$$M_A = -F \cdot x \quad (3.37)$$



Gambar 3.30 (a) Diagram gaya dan (b) Diagram momen

Berdasarkan kondisi pada diagram momen yang telah dibuat, dilakukan perhitungan defleksi pada potongan dengan

menggunakan metode double integral sebagai berikut : Dari gambar 3.29 didapatkan boundary condition yaitu $\theta = dv/dx = 0$ pada $x=L$ dan $v=0$ pada $x=0$, dengan boundary condition tersebut dapat digunakan untuk menyelesaikan persamaan berikut :

- Untuk $(0 \leq X_1 \leq l)$

$$\begin{aligned}
 EI \frac{d^2v}{dx^2} &= M(x) \\
 EI \frac{d^2v}{dx^2} &= -F \cdot x \\
 EI \frac{dv}{dx} &= -\frac{F}{2} \cdot x^2 + C_1 \\
 EI v &= -\frac{F}{6} \cdot x^3 + C_1x + C_2
 \end{aligned} \tag{3.39}$$

Mencari nilai C_1 dan C_2 :

Untuk $\theta = dv/dx = 0$ pada $x=L$

$$\begin{aligned}
 EI \frac{dv}{dx} &= -\frac{F}{2} \cdot x^2 + C_1 \\
 0 &= -\frac{F}{2} \cdot (l)^2 + C_1 \\
 C_1 &= \frac{FL^2}{2}
 \end{aligned} \tag{3.40}$$

Untuk $v = 0$ pada $x=0$:

$$\begin{aligned}
 EI v &= -\frac{F}{6} \cdot x^3 + C_1x + C_2 \\
 0 &= -\frac{F}{6} \cdot 0 + C_1 \cdot 0 + C_2 \\
 C_2 &= 0
 \end{aligned} \tag{3.41}$$

Setelah didapatkan besarnya nilai C_1 dan C_2 lalu persamaan 3.40 dan 3.41 disubstitusikan ke dalam persamaan 3.39 untuk mencari besarnya defleksi maksimum yang berada pada $x = L$ sebagai berikut :

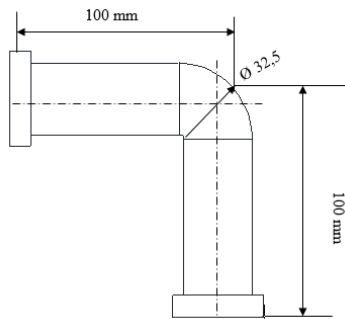
$$\begin{aligned}
EI v &= -\frac{F}{6} \cdot x^3 + C_1 x + C_2 \\
EI v &= -\frac{F}{6} \cdot (L)^3 + \frac{FL^2}{2} \cdot L + 0 \\
EI v &= -\frac{FL^3}{6} + \frac{FL^3}{2} \\
EI v &= -\frac{FL^3}{6} + \frac{3FL^3}{6} \\
EI v &= \frac{2FL^3}{6} \\
EI v &= \frac{FL^3}{3} \\
v &= \frac{FL^3}{3EI} \\
\Delta &= \frac{FL^3}{3EI} \tag{3.42}
\end{aligned}$$

Sehingga persamaan 3.42 digunakan untuk mendapatkan pada titik maksimum yaitu pada belokan pipa *elbow*. Dimana persamaan untuk mencari nilai kekakuan ditunjukkan oleh persamaan 3.43 berikut ini

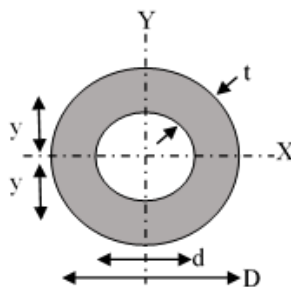
$$\begin{aligned}
F &= K \cdot \Delta X \\
K &= \frac{F}{\Delta X} \\
K &= \frac{F}{\frac{FL^3}{3EI}} \\
K &= \frac{3EI}{L^3} \tag{3.43}
\end{aligned}$$

Dari persamaan 3.43 untuk mencari nilai kekakuan pada titik maksimum yaitu pada belokan pipa *elbow*, diperlukan beberapa parameter yang harus dipenuhi seperti modulus elastisitas, panjang dan inersia. benda kerja memiliki modulus

elastisitas sebesar 3000 N/mm^2 . Panjang konstanta kekakuan didapatkan dari clamp sampai ke titik *bend* dimana pada penelitian ini titik *bend* merupakan beban terpusat seperti ditunjukkan pada gambar 3.31 yang merupakan dimensi dari pipa *elbow* 90° dari clamp sampai titik *bend*, sedangkan untuk inersia diperlukan analisa momen inersia dengan menggunakan inersia 2 dimensi atau disebut juga dengan inersia bidang. Dimana inersia yang digunakan yaitu inersia lingkaran *hollow* seperti pada gambar 3.32, sehingga dapat diketahui nilai momen inersia menggunakan persamaan 3.44. Sehingga nilai dari konstanta kekakuan sistem utama sebesar 12245 N/m , dimana perhitungannya dapat dilihat pada persamaan 3.45 dibawah ini.



Gambar 3.31 Dimensi dari pipa *elbow* 90°



Gambar 3.32 Lingkaran *hollow*

- Momen Inersia

$$I = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4)$$

$$I = \frac{\pi}{64}(32,7^4 - 32,5^4)$$

$$I = 1360,56 \text{ mm}^4 \quad (3.44)$$

- Konstanta Kekakuan Sistem Utama

$$K = \frac{3 \times 3000 \frac{N}{\text{mm}^2} \times 1360,56 \text{ mm}^4}{(100\text{mm})^3}$$

$$K = 12,245 \frac{N}{\text{mm}} = 12245 \frac{N}{\text{m}} \quad (3.45)$$

2. Konstanta Kekakuan DVA (K_2, K_3)

Berdasarkan frekuensi natural yang telah di cari maka didapatkan besaran dari frekuensi natural yaitu 276.64 rad/s. Untuk mendapatkan nilai dari konstanta kekakuan DVA dapat dicari dengan menggunakan persamaan 3.46 berikut ini, sehingga didapatkan nilai konstanta kekakuan DVA sebesar 612.249 N/m

$$W_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3.46)$$

3.2.6.4 Variasi Kecepatan Fluida dan Posisi Peletakkan DVA

Dalam melakukan simulasi tugas akhir ini, dilakukan pengambilan data berupa respon getaran dengan beberapa variasi yaitu sebelum penambahan DVA, posisi peletakkan DVA dan kecepatan dari fluida. Untuk variasi kecepatan fluida akan dilakukan dengan tiga kecepatan yaitu pada saat aliran *turbulent*,

perhitungan kecepatan fluida dilakukan menggunakan persamaan 2.1 sehingga didapatkan persamaan 3.50 – 3.53. Dapat dilihat dari tabel 3.54 merupakan tabel kombinasi pengambilan data yang akan dilakukan

Variasi kecepatan fluida :

Dapat dilihat dari tabel 3.4 merupakan tabel kombinasi pengambilan data yang dilakukan. Adapun perhitungan dari variasi kecepatan dapat dilihat pada persamaan 3.51 – 3.52 berikut ini.

- Aliran *turbulent* dengan nilai Re sebesar 12188

$$12188 = \frac{1000 \cdot V \cdot 0,0325}{8 \times 10^{-4}}$$

$$V = 0,3 \text{ m/s} \quad (3.50)$$

- Aliran *turbulent* dengan nilai Re sebesar 20312

$$20312 = \frac{1000 \cdot V \cdot 0,0325}{8 \times 10^{-4}}$$

$$V = 0,5 \text{ m/s} \quad (3.51)$$

- Aliran *turbulent* dengan nilai Re sebesar 28437

$$28437 = \frac{1000 \cdot V \cdot 0,0325}{8 \times 10^{-4}}$$

$$V = 0,7 \text{ m/s} \quad (3.52)$$

Tabel 3.4 Kombinasi Pengambilan Data Simulasi

Arah Getaran	Variasi Kecepatan Fluida (m/s)	Tanpa Dva (m/s ²)	Variasi Peletakkan DVA	Variasi Rasio Massa DVA	Dengan DVA (m/s ²)	Reduksi Getaran (%)
y	0.3		<i>Input</i>	1/10		
	0.5			1/20		
	0.7			1/30		
	0.3		<i>Bend</i>	1/10		
	0.5			1/20		
	0.7			1/30		
x	0.3		<i>Bend</i>	1/10		
	0.5			1/20		
	0.7			1/30		
	0.3		<i>Output</i>	1/10		
	0.5			1/20		
	0.7			1/30		

3.2.7 Pembuatan Blok Diagram

Persamaan state variable yang didapatkan dari persamaan gerak model dinamis sistem utama tanpa DVA dan dengan penambahan DVA, diubah ke dalam blok-blok diagram simulasi yang terdapat pada software matlab simulink. Software ini digunakan untuk mendapatkan penyelesaian dari persamaan matematis yang telah didapat. Hasil dari simulasi yang dilakukan berupa respon sistem utama pada setiap kondisi variasi yang telah ditentukan.

3.2.8 Simulasi

Tahap simulasi merupakan tahap dimana pengujian dilakukan pada sistem utama tanpa DVA dan sistem utama dengan penambahan DVA. Sebelum melakukan proses simulasi pada software matlab simulink, harus diketahui *input* dan *output* yang diinginkan dari simulasi yang akan dijalankan. Proses simulasi pada sistem utama tanpa DVA dilakukan dengan memberi *input* berupa gaya sinusoidal dan *Output* yang didapat berupa respon percepatan pada sistem utama tanpa DVA. Pada pemodelan sistem

utama dengan penambahan DVA, proses simulasi dimulai dengan memberi *input* berupa gaya sinusoidal pada sistem utama dan *output* yang didapat berupa respon percepatan.

3.2.9 Reduksi Respon Getaran

Setelah simulasi berhasil dijalankan pada tiap variasinya, maka akan didapatkan nilai reduksi respon getaran pada sistem utama. Hasil simulasi ini kemudian diolah menjadi grafik reduksi getaran terhadap variasi yang dilakukan. Grafik yang didapatkan berupa respon getaran sistem utama terhadap variasi kecepatan fluida, kemudian grafik respon reduksi getaran sistem utama terhadap variasi posisi peletakkan DVA pada *input*, *bend* dan *output* dari sistem utama, dan grafik respon reduksi getaran sistem utama terhadap variasi massa DVA pada *input*, *bend* dan *output* dari sistem utama

3.2.10 Analisa Hasil

Berdasarkan grafik hasil simulasi yang didapat, dilakukan analisa data dan pembahasan sesuai dasar teori yang ada. Selanjutnya, dapat diketahui hubungan variasi kecepatan fluida terhadap respon getaran sistem utama, hubungan variasi posisi peletakkan DVA terhadap reduksi respon getaran sistem utama dan hubungan variasi massa DVA terhadap reduksi respon getaran sistem utama

3.2.11 Kesimpulan

Berdasarkan analisa hasil yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan dan saran mengenai penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan yang didapatkan yaitu menyangkut poin-poin pembahasan dari hasil simulasi yang telah dilakukan serta jawaban dari rumusan masalah yang ada. Saran yang dibuat merupakan saran yang bersifat membangun agar penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan penelitian ini dapat berjalan lebih baik.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

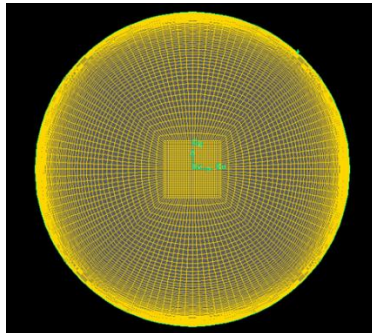
HASIL DAN PEMBAHASAN

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

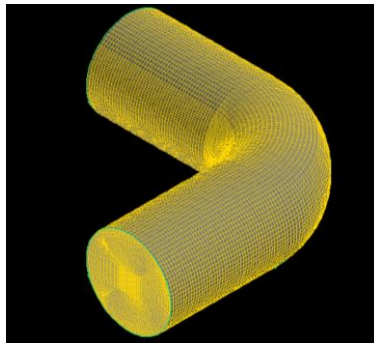
4.1 Simulasi Aliran di Dalam Pipa

4.1.1 Membuat Meshing Pipa

Simulasi aliran menggunakan software *Ansys fluent* yang merupakan software *finite element*, maka dari itu diperlukan mesh dari pipa *elbow* 90°. Pembuatan mesh menggunakan software ANSYS Gambit 2.4.6. *Meshing* merupakan tahapan pembagian domain simulasi menjadi volume yang lebih kecil yang disebut dengan elemen. *Meshing* berfungsi sebagai control volume pada domain simulasi yang diselesaikan dengan software *Ansys fluent*.



Gambar 4.1 Meshing permukaan pipa

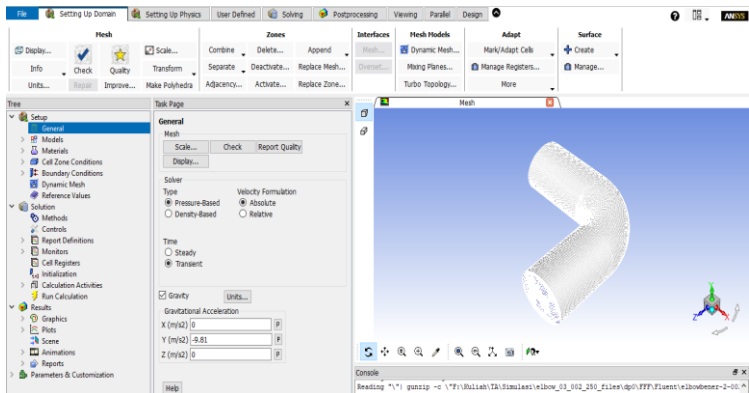


Gambar 4.2 Meshing pipa *elbow*

Pada gambar 4.1 Digunakan teknik menambahkan geometri imajiner berbentuk persegi pada bagian tengah permukaan pipa dengan tujuan meningkatkan kualitas *meshing*. Bagian *meshing* yang berada di dekat dinding memiliki elemen lebih banyak untuk menangkap fenomena yang terjadi pada dinding khususnya *boundary layer*.

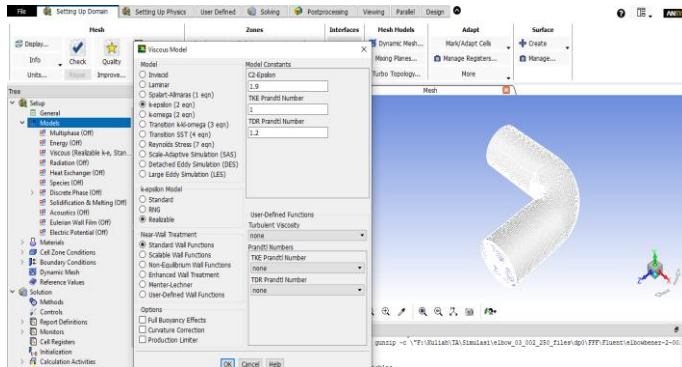
4.1.2 Simulasi *Ansys fluent*

Meshing yang telah dibuat kemudian dijadikan *input* untuk simulasi *Ansys fluent* 18.2. Tipe aliran yang disimulasikan adalah aliran *transient* dengan memperhitungkan pengaruh gravitasi, besar gravitasi adalah $9,81 \text{ m/s}^2$.



Gambar 4.3 Tipe aliran yang di simulasikan

Viscous model yang digunakan adalah k-epsilon model *reliable* dengan standard *wall function*. K-epsilon merupakan model yang paling umum digunakan untuk kasus aliran turbulen. Material yang dimasukkan adalah air dengan densitas 998.2 kg/m^3 dan viskositas sebesar 0.001003 kg/m s .



Gambar 4.4 Viscous model yang di simulasikan

Boundary condition terbagi menjadi tiga bagian yaitu: *inlet*, *outlet*, dan *wall*. Pada *inlet* dimasukkan parameter variasi kecepatan, *initial pressure*, *turbulent intensity*, dan *hydraulic diameter*. *Headloss major* maupun *headloss minor* hasil perhitungan memiliki nilai yang sangat kecil sehingga pengaruhnya dapat diabaikan, sehingga nilai *initial pressure* sama dengan *pressure* yang diberikan oleh pompa. Total *head* maksimal yang diberikan pompa adalah 20 m, dengan persamaan berikut didapatkan besar tekanan sebesar 196200 pa

$$P = \rho_{fluid} \times g \times h$$

Keterangan:

P = tekanan (pa)

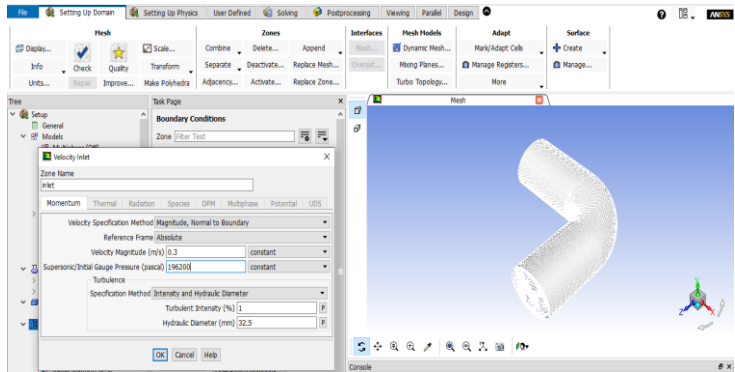
ρ_{fluid} = density (kg/m³)

g = gravity (m/s²)

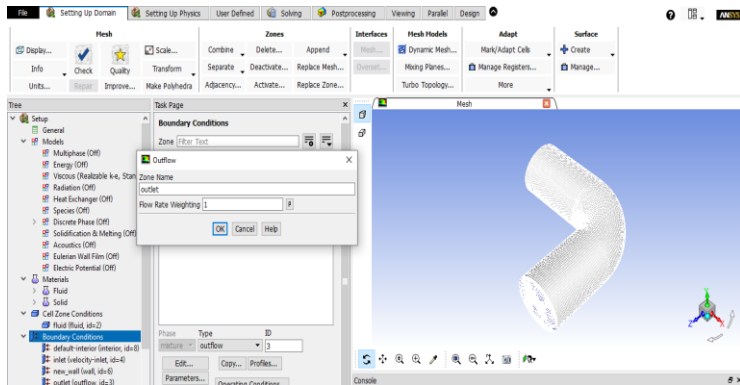
h = kedalaman/ketinggian (m)

Initial pressure didapatkan dari perhitungan *head* dari spesifikasi pompa yang digunakan untuk sistem perpipaan. *Turbulent intensity* yang dimasukkan pada simulasi yaitu sebesar 1% yang termasuk medium-turbulence case dimana geometri yang dilewati aliran tidak kompleks dan kecepatan fluida tidak terlalu

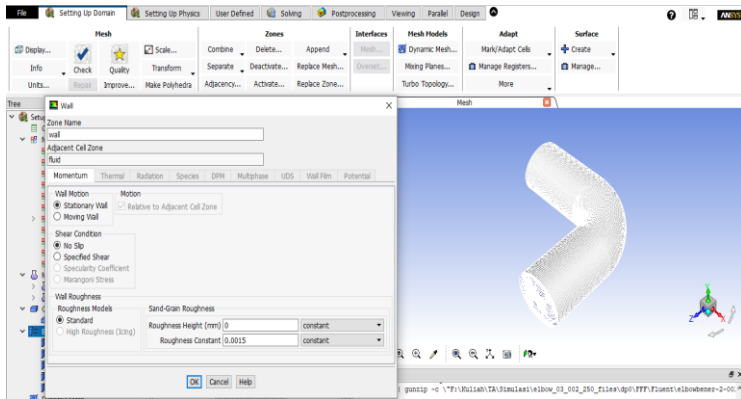
tinggi. *Hydraulic* diameter merupakan diameter *inlet* pipa *elbow*. Pada bagian *wall* konstanta kekasaran disesuaikan dengan kekasaran pipa PVC yaitu sebesar 0,0015. Pada bagian *outlet* diatur sebagai *outflow* karena tidak diketahui *properties* pada *outlet* tersebut.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.5 *Boundary Condition* yang di simulasikan untuk *inlet* (a), *outflow* (b), dan *wall* (c)

Reference value dihitung dari *inlet*, metode penyelesaian yang digunakan adalah metode *SIMPLE second order* untuk memperkecil error. Inisialisasi simulasi menggunakan metode standard. Penentuan jumlah timestep size, number of iteration, dan max iteration per *timestep* berdasarkan CFL number pada kasus *internal flow*. Besar CFL number didapatkan dari persamaan:

$$CFL = \frac{v \Delta t}{x}$$

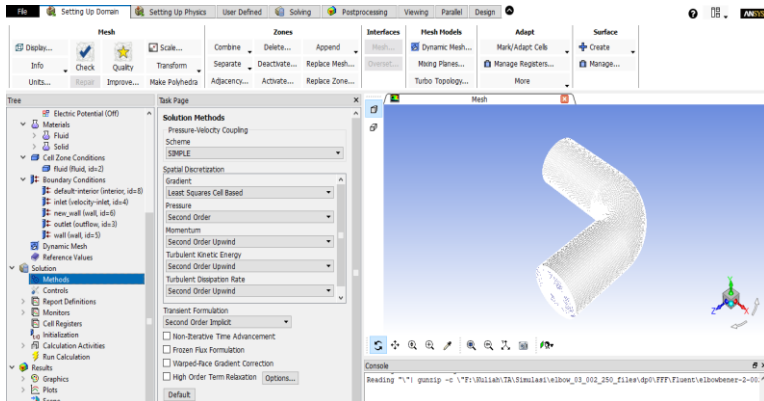
Keterangan:

CFL number < 1

v = kecepatan fluida (m/s)

Δt = *timestep size* (s)

x = panjang elemen mesh terkecil (m)

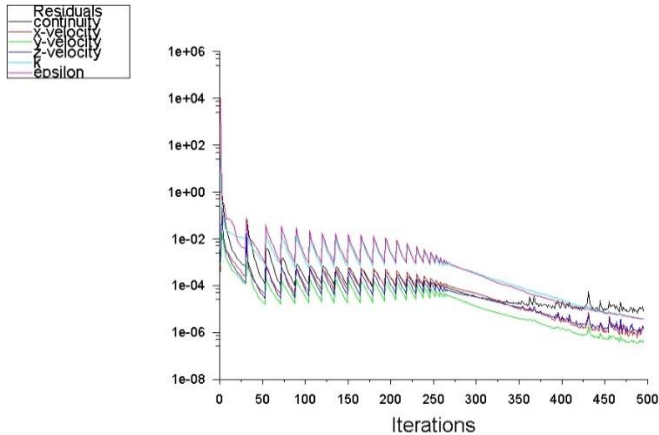


Gambar 4.6 Metode yang digunakan untuk penyelesaian simulasi

Dengan menentukan nilai CFL, didapatkan *timestepsize* untuk simulasi. *Number of timestep* disesuaikan dengan seberapa lama simulasi berjalan. Waktu simulasi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Time = timestep \times number\ of\ timestep$$

Melalui persamaan yang telah dijelaskan di atas, untuk simulasi ini membutuhkan timestep $2,14 \times 10^{-5}$ s. Simulasi dijalankan selama 5 s, maka dibutuhkan number of timestep sebanyak 233644 kali. Dengan angka tersebut membutuhkan waktu yang sangat lama untuk menyelesaikan simulasi. Maka dari itu pada penelitian ini waktu simulasi dipersingkat, dengan metode *trial and error* didapatkan *timestep* dengan nilai lebih rendah namun hasil dari simulasi *fluent* tetap bisa converged. Didapatkan *timestep* sebesar 0.02 s dengan *number of iteration* sebanyak 250 kali. Dengan parameter-parameter yang sudah dijelaskan sebelumnya dijalankan simulasi *fluent* dengan memperhatikan grafik residual seperti pada gambar 4.7 dibawah ini.

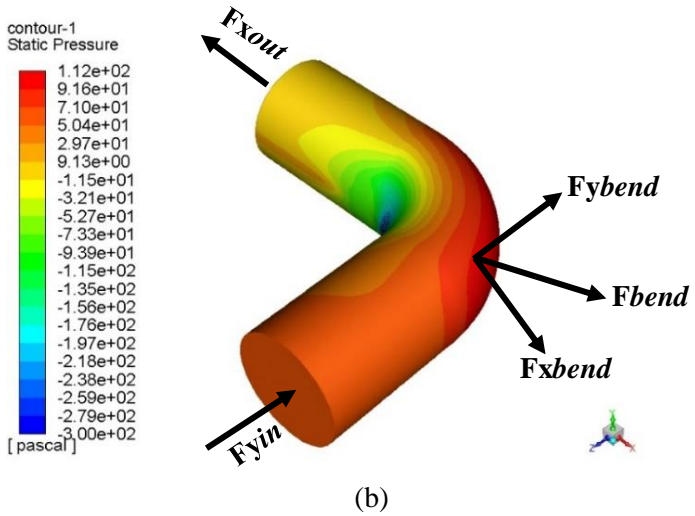
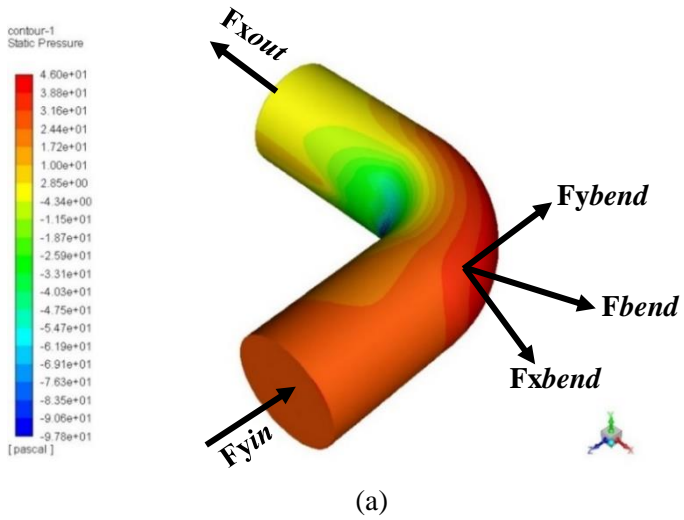


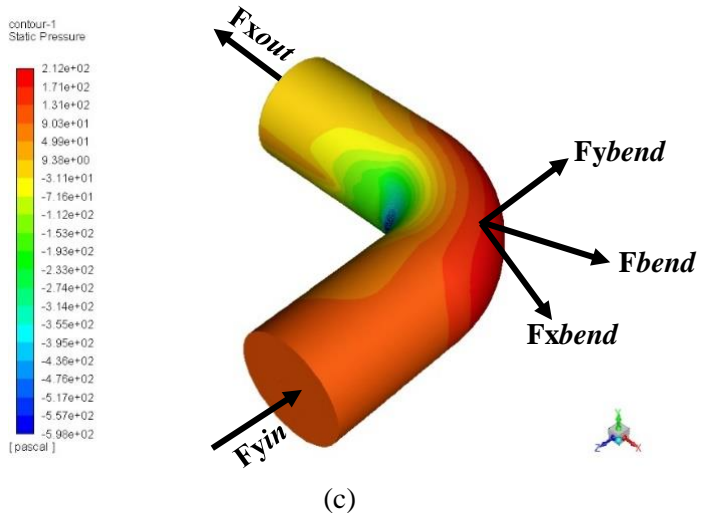
Gambar 4.7 Contoh grafik residual simulasi pipa *elbow*

Dari grafik tersebut dapat dilihat *residual error* simulasi yang telah dijalankan. Dapat terlihat dari grafik pada awal iterasi terjadi fluktuasi yang berlanjut sampai iterasi ke-250, setelah itu tren grafik terus menurun. Di akhir iterasi error sudah dianggap kecil maka timestep yang didapatkan dari hasil *trial and error* dapat digunakan.

4.1.3 Hasil Simulasi *Ansys fluent*

Penelitian ini dilakukan dengan 3 variasi kecepatan fluida yang mengacu pada nilai Re yaitu sebesar 12188 sehingga kecepatan fluidanya sebesar 0.3 m/s, nilai Re 20312 sehingga kecepatan fluidanya sebesar 0.5 m/s dan nilai Re 28437 sehingga kecepatan fluidanya sebesar 0.7 m/s, dimana ketiga nilai Re tersebut merupakan aliran *turbulent*. *Output* dari simulasi berupa gaya, dimana gaya berbanding lurus dengan tekanan, maka perlu diperhatikan tekanan yang terjadi pada pipa pada masing-masing kecepatan. Gambar 4.8 dibawah menunjukkan *pressure countour* dari pipa *elbow* pada masing masing kecepatan.

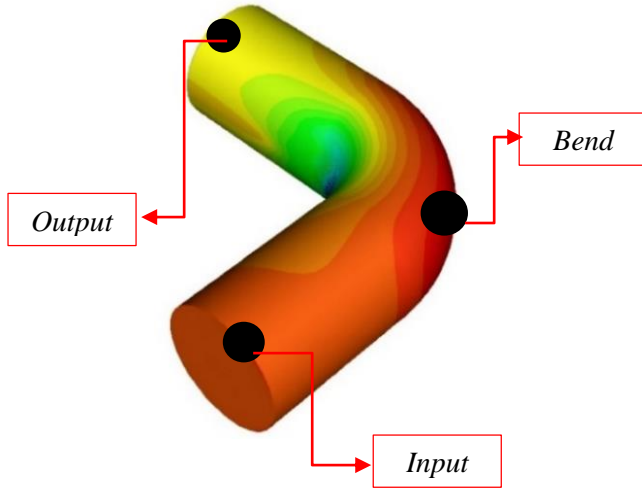




Gambar 4.8 *Pressure Countour* (a) pipa *elbow* kecepatan 0.3 m/s, (b) Pipa *elbow* kecepatan 0.5 m/s, (c) pipa *elbow* kecepatan 0.7 m/s

Hasil simulasi dari *ANSYS FLUENT* dapat dilakukan *export fluent* sehingga didapatkan nilai dari gaya arah x dan gaya arah y dengan menggunakan pilihan *result* seperti pada gambar 3.7 yaitu pada skema analisis workbench *Ansys fluent* terdapat pilihan *result*. Selanjutnya di pilihan *result* tersebut juga di dilakukan pengambilan koordinat *vector* yaitu dengan mengambil satu titik dari penampang *elbow* yang diinginkan diambil data gaya nya, yaitu di masukan (*input*) dari pipa *elbow*, di belokan (*bend*) dari pia *elbow* dan kelauran dari pipa *elbow* (*output*). Dapat dilihat pada gambar 4.9 merupakan tempat pengambilan koordinat *vector* yang akan dilakukan. Didapatkan koordinat arah x, y dan z, dimana dari koordinat tersebut digunakan untuk mencari besar dari nilai gaya arah sumbu y dan arah sumbu x yang telah didapatkan sebelumnya

dari *export fluent* seperti pada gambar 4.10 yang kemudian ditabelkan seperti pada tabel 4.1. Sehingga didapatkan hasil gaya arah sumbu y dan arah sumbu x di *input*, *bend* dan *output* seperti pada tabel 4.2.



Gambar 4.9 Koordinat vector hasil simulasi

Tabel 4.1 Koordinat vector masing masing titik

Peletakan	X	Y	Z
<i>Input</i>	7.74E-02	-5.92E-02	9.86E-02
<i>Bend</i>	7.62E-02	-7.50E-02	2.34E-02
<i>Output</i>	1.001E-03	-5.895E-02	2.245E-02

[Data]	X [m]	Y [m]	Z [m]	Force X [N]
6				
7	0.045	-0.086	0.014	-0.0019265
8	0.045	-0.087	0.014	0.0000020
9	0.044	-0.087	0.014	0.0000009
10	0.044	-0.086	0.014	-0.0000076
11	0.045	-0.088	0.015	0.0000051
12	0.044	-0.088	0.015	0.0000035
13	0.045	-0.089	0.017	-0.0000064
14	0.044	-0.089	0.017	-0.0000073
15	0.045	-0.089	0.018	-0.0000036
16	0.044	-0.089	0.018	-0.0000036
17	0.045	-0.090	0.019	0.0000069
18	0.044	-0.090	0.019	0.0000058
19	0.045	-0.090	0.020	-0.0000030
20	0.044	-0.090	0.020	-0.0000028
21	0.045	-0.091	0.021	-0.0000064
22	0.044	-0.091	0.021	-0.0000064
23	0.045	-0.091	0.022	0.0000050

Gambar 4.10 Hasil *export fluent* berupa gaya

Dari gambar 4.8 dapat terlihat pola *contour* yang serupa untuk geometri pipa yang sama. *Contour* pada pipa *elbow* terjadi tekanan paling tinggi pada tikungan yang ditunjukkan oleh warna merah pada gambar 4.4, tekanan setelah tikungan kemudian menurun. Faktor utama yang mempengaruhi aliran melalui tikungan adalah adanya gradien tekanan radial yang diciptakan oleh gaya sentrifugal yang bekerja pada fluida. Karena itu, fluida di tengah pipa bergerak ke arah luar mendekati dinding dan kembali sepanjang dinding ke arah sisi dalam. Jika kelengkungan tikungan cukup tajam, *adverse pressure gradien* dekat dinding luar pada tikungan dan dinding bagian dalam tepat setelah tikungan dapat menyebabkan separasi aliran pada titik-titik ini akibat *secondary flow*, sehingga menimbulkan peningkatan substansial dalam kehilangan tekanan.

Tekanan pada dinding luar mengalami peningkatan yang cepat sedangkan tekanan pada dinding bagian dalam mengalami penurunan tajam di bawah tumbukan dari gaya sentrifugal yang dihasilkan dari gerakan melingkar partikel fluida yang diinduksi oleh kelengkungan tikungan pipa. Pada dinding luar, ini disebabkan oleh kedua gaya sentrifugal dan dampak fluida pada dinding siku karena efek kelengkungan tikungan. Pada dinding bagian dalam, penurunan dan tekanan minimum diinduksi sebagian oleh separasi boundary-layer. Setelah daerah ini, tekanan dinding luar mulai berkurang karena efek pantulan partikel fluida dari dinding luar ke dinding dalam. Oleh karena peristiwa tersebut menyebabkan tekanan ditikungan *elbow* menjadi besar dimana tekanan berbanding lurus dengan gaya. Sehingga gaya di belokan (*bend*) lebih besar daripada di *input* dan *output* dari *elbow*. Hal tersebut juga dapat dilihat pada persamaan *flow in a bend* dibawah ini, dimana pada pipa *elbow* terjadi perbedaan jari jari sebelum belokan dan setelah belokan, apabila jari – jari di belokan ini besar maka tekanan yang dihasilkan juga besar. Oleh sebab itu tekanan di belokan *elbow* lebih besar dibandingkan dengan tekanan sebelum belokan *elbow*.

$$\Delta P = \rho V^2 \ln \frac{r_2}{r_1}$$

Getaran dapat terjadi karena fluida bergesekan dengan pipa. Dimana getaran di pipa *elbow* memiliki getaran yang lebih besar. Hal ini terjadi karena peristiwa vortex yang terjadi di belokan *elbow*, dimana fluida di *vortex* hanya berputar di satu tempat saja sehingga fluida tidak memiliki $V_{\text{translasi}}$ tetapi memiliki V_{radial} yang sangat besar, akibat dari V_{radial} yang besar ini menyebabkan gaya geseknya semakin besar. Sehingga getaran di pipa *elbow* menjadi lebih besar.

Tabel 4.2 Besar gaya pada posisi peletakan DVA pada tiap variasi kecepatan

Kecepatan	Posisi Peletakan			
	<i>Input</i> (N)	<i>Output</i> (N)	<i>Bend</i> (N)	
	$F_{y_{in}}$	$F_{x_{out}}$	$F_{y_{bend}}$	$F_{x_{bend}}$
0.3 m/s	7.30×10^{-6}	5.30×10^{-6}	2.317×10^{-1}	2.381×10^{-1}
0.5 m/s	8.00×10^{-6}	5.90×10^{-6}	2.319×10^{-1}	2.385×10^{-1}
0.7 m/s	9.40×10^{-6}	7.40×10^{-6}	2.326×10^{-1}	2.390×10^{-1}

Dari hasil simulasi yang dilakukan seperti pada tabel 4.2 diatas, didapatkan bahwa gaya yang berada di tikungan (*bend*) pipa *elbow* 90° lebih besar daripada di *input* dan *output* pipa *elbow* 90° . Nilai dari gaya yang dihasilkan pada belokan (*bend*) pipa *elbow* 90° pada saat kecepatan 0.3 m/s, 0.5 m/s dan 0,7 m/untuk arah y berturut-turut sebesar 2.317×10^{-1} , 2.319×10^{-1} dan 2.326×10^{-1} dan untuk arah x berturut-turut sebesar 2.381×10^{-1} , 2.385×10^{-1} dan 2.390×10^{-1} . Tetapi perbedaan gaya di setiap kecepatan dari 0.3 m/s, 0.5 m/s dan 0.7 m/s baik di *input*, *bend* dan *output* relatif tidak berbeda secara signifikan, hal ini disebabkan karena kecepatan yang disimulasikan kecil dan tidak terlalu jauh secara signifikan satu dengan yang lainnya, sehingga gaya yang didapatkan juga tidak terlalu jauh di setiap kecepatan fluida.

4.2 Pembuatan Blok Simulasi

Dalam melakukan simulasi, diperlukan suatu persamaan berbentuk state variable yang kemudian diubah menjadi blok diagram simulasi. Dari blok diagram simulasi tersebut didapatkan respon getaran yang diinginkan. Pembuatan blok diagram dilakukan untuk sistem utama tanpa DVA dan sistem utama dengan penambahan DVA. *Input* yang digunakan dalam simulasi simulink matlab berupa sinusoidal gaya, dimana gaya tersebut didapatkan dari hasil simulasi *ansys fluent*.

4.2.1 Sistem Utama Tanpa DVA

Berdasarkan persamaan yang telah didapat pada subbab 3.2.5.1, dapat dibuat persamaan gerak dalam bentuk state variable sebagai berikut :

- Gerak Translasi Arah Sumbu y

$$\ddot{y}_1 = \frac{1}{m_1} (-k_1 y_1 + f_y)$$

- Gerak Translasi Arah Sumbu x

$$\ddot{x}_1 = \frac{1}{m_1} (-k_1 x_1 + f_x)$$

Dimana :

M_1 : Massa utama

f_x : Gaya eksitasi pada sistem utama sumbu x

f_y : Gaya eksitasi pada sistem utama sumbu y

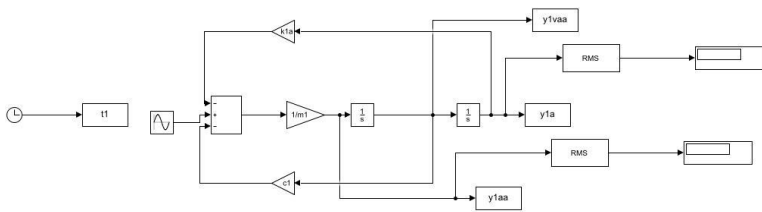
k_{1x} : Konstanta kekakuan dari massa utama arah x

k_{1y} : Konstanta kekakuan dari massa utama arah y

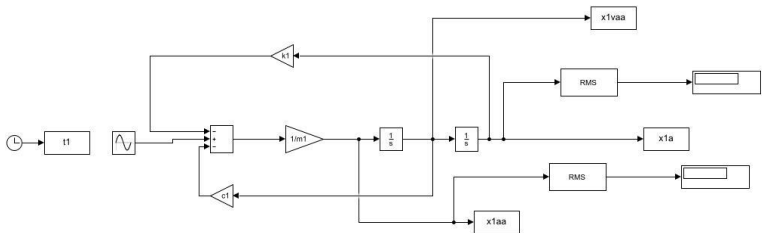
$x_{1(t)}$: Perpindahan massa utama arah x

$y_{1(t)}$: Perpindahan massa utama arah y

Dari state variable diatas kemudian dibuat blok diagram simulasi seperti pada gambar 4.11 untuk getaran translasi arah sumbu y dan gambar 4.12 untuk getaran translasi arah sumbu x, yang merepresentasikan sistem utama tanpa DVA untuk disimulasikan pada software Simulink Matlab. *Input* dari blok diagram tersebut berupa sinusoidal wave yang menggambarkan gaya eksitasi saat air mengalir melalui pipa *elbow* 90°. Melalui proses running, didapatkan respon getaran dalam bentuk perpindahan dan percepatan.



Gambar 4.11 Blok Diagram Sistem Utama Tanpa DVA untuk Getaran Arah y



Gambar 4.12 Blok Diagram Sistem Utama Tanpa DVA untuk Getaran Arah x

4.2.2 Sistem Utama Dengan DVA

1. Penambahan DVA di *Input*

Berdasarkan persamaan yang telah didapat pada subbab 3.2.5.2, dapat dibuat persamaan gerak dalam bentuk state variable sebagai berikut :

- **Gerak Translasi Arah Sumbu y**

$$\ddot{y}_1 = \frac{1}{m_1} (f_y - (k_1 + k_2 + k_3)y_1 + k_2y_2 + k_3y_3)$$

$$\ddot{y}_2 = \frac{1}{m_2} (-k_2y_2 + k_2y_1)$$

$$\ddot{y}_3 = \frac{1}{m_3} (-k_3y_3 + k_3y_1)$$

- **Gerak Translasi Arah Sumbu x**

$$\ddot{x}_1 = \frac{1}{m_1} (-k_1 x_1 + f_x)$$

Dimana :

M_1 : Massa utama

M_2 : Massa DVA 2

M_3 : Massa DVA 3

f_x : Gaya eksitasi pada sistem utama sumbu x

f_y : Gaya eksitasi pada sistem utama sumbu y

k_{1x} : Konstanta kekakuan dari massa utama arah x

k_{1y} : Konstanta kekakuan dari massa utama arah y

k_{2y} : Konstanta kekakuan dari DVA 2 arah y

k_{3y} : Konstanta kekakuan dari DVA 3 arah y

$x_{1(t)}$: Perpindahan massa utama arah x

$y_{1(t)}$: Perpindahan massa utama arah y

y_2 : Perpindahan DVA 2 arah y

y_3 : Perpindahan DVA 3 arah y

2. Penambahan DVA di Bend

Berdasarkan persamaan yang telah didapat pada sub bab 3.2.5.3, dapat dibuat persamaan gerak dalam bentuk state variable sebagai berikut :

- **Gerak Translasi Arah Sumbu y**

$$\ddot{y}_1 = \frac{1}{m_1} (f_y - (k_1 + k_2 + k_3)y_1 + (k_2 \sin 45^\circ)y_2 + (k_3 \sin 45^\circ)y_3)$$

$$\ddot{y}_2 = \frac{1}{m_2} (-(k_2 \sin 45^\circ)y_2 + k_2 y_1)$$

$$\ddot{y}_3 = \frac{1}{m_3} (-(k_3 \sin 45^\circ)y_3 + k_3 y_1)$$

- **Gerak Translasi Arah Sumbu x**

$$\ddot{x}_1 = \frac{1}{m_1} (f_x - (k_1 + k_2 + k_3)x_1 + (k_2 \cos 45^\circ)x_2 + (k_3 \cos 45^\circ)x_3)$$

$$\ddot{x}_2 = \frac{1}{m_2} (-(k_2 \cos 45^\circ)x_2 + k_2 x_1)$$

$$\ddot{x}_3 = \frac{1}{m_3} (-(k_3 \cos 45^\circ)x_3 + k_3 x_1)$$

Dimana :

M_1 : Massa utama

M_2 : Massa DVA 2

M_3 : Massa DVA 3

f_x : Gaya eksitasi pada sistem utama sumbu x

f_y : Gaya eksitasi pada sistem utama sumbu y

k_{1x} : Konstanta kekakuan dari massa utama arah x

k_{1y} : Konstanta kekakuan dari massa utama arah y

$x_{1(t)}$: Perpindahan massa utama arah x

$y_{1(t)}$: Perpindahan massa utama arah y

y_2 : Perpindahan DVA 2 arah y

y_3 : Perpindahan DVA 3 arah y

x_2 : Perpindahan DVA arah x sebesar $\cos 45^\circ$

x_3 : Perpindahan DVA arah x sebesar $\cos 45^\circ$

y_2 : Perpindahan DVA arah y sebesar $\sin 45^\circ$

y_3 : Perpindahan DVA arah y sebesar $\sin 45^\circ$

k_{2x} : Konstanta pegas dari DVA arah x sebesar $\cos 45^\circ$

k_{3x} : Konstanta pegas dari DVA arah x sebesar $\cos 45^\circ$

k_{2y} : Konstanta pegas dari DVA arah y sebesar $\sin 45^\circ$

k_{3y} : Konstanta pegas dari DVA arah y sebesar $\sin 45^\circ$

3. Penambahan DVA di *Output*

Berdasarkan persamaan yang telah didapat pada sub bab 3.2.5.4, dapat dibuat persamaan gerak dalam bentuk state variable sebagai berikut :

- **Gerak Translasi Arah Sumbu y**

$$\ddot{y}_1 = \frac{1}{m_1} (f_y - k_1 y_1)$$

- **Gerak Translasi Arah Sumbu x**

$$\ddot{x}_1 = \frac{1}{m_1} (f_x - (k_1 + k_2 + k_3)x_1 + k_2x_2 + k_3x_3)$$

$$\ddot{x}_2 = \frac{1}{m_2} (-k_2x_2 + k_2x_1)$$

$$\ddot{x}_3 = \frac{1}{m_3} (-k_3x_1 + k_3x_3)$$

Dimana :

M_1 : Massa utama

M_2 : Massa DVA 2

M_3 : Massa DVA 3

f_x : Gaya eksitasi pada sistem utama sumbu x

f_y : Gaya eksitasi pada sistem utama sumbu y

k_{1x} : Konstanta kekakuan dari massa utama arah x

k_{1y} : Konstanta kekakuan dari massa utama arah y

k_{2x} : Konstanta kekakuan dari DVA 2 arah x

k_{3x} : Konstanta kekakuan dari DVA 3 arah x

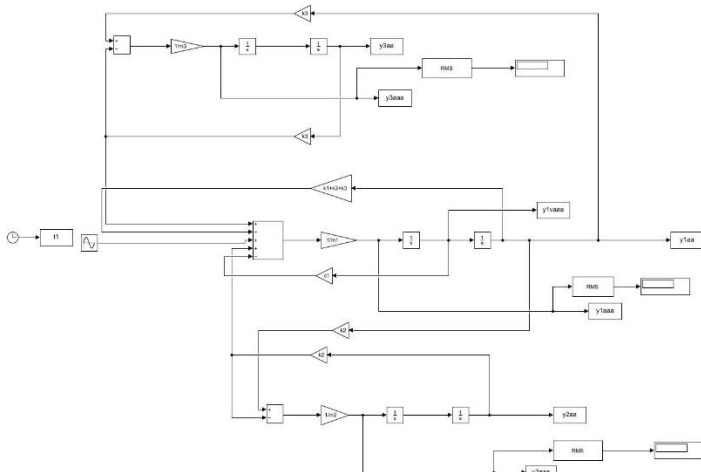
$x_{1(t)}$: Perpindahan massa utama arah x

$y_{1(t)}$: Perpindahan massa utama arah y

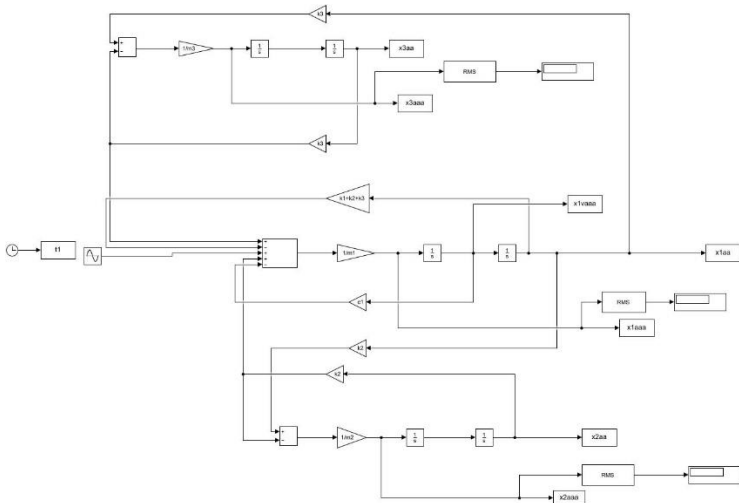
x_2 : Perpindahan DVA 2 arah x

x_3 : Perpindahan DVA 3 arah x

Dari state variable diatas kemudian dibuat blok diagram simulasi seperti pada gambar 4.13 untuk getaran translasi arah sumbu y, yang merepresentasikan sistem utama dengan DVA dimana getaran dari sistem utama arah y di redam dengan DVA kearah y. dan gambar 4.14 untuk getaran translasi arah sumbu x, yang merepresentasikan sistem utama dengan DVA dimana getaran dari sistem utama arah x di redam dengan DVA kearah x. Untuk disimulasikan pada software Simulink Matlab. *Input* dari blok diagram tersebut berupa sinusoidal wave yang menggambarkan gaya eksitasi saat air mengalir melalui pipa *elbow* 90°. Melalui proses running, didapatkan respon getaran dalam bentuk perpindahan dan percepatan.



Gambar 4.13 Blok Diagram Sistem Utama Dengan DVA untuk Getaran Arah y



Gambar 4.14 Blok Diagram Sistem Utama Dengan DVA untuk Getaran Arah x

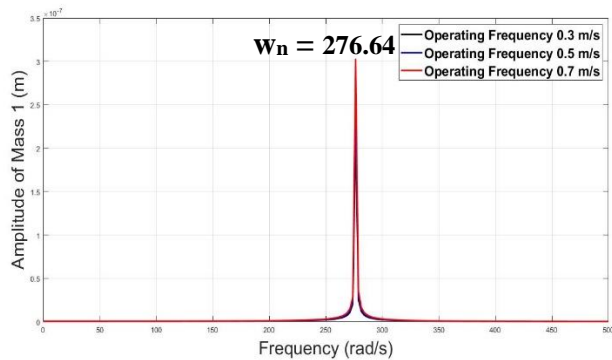
4.3 Pemodelan Simulasi

Pemodelan simulasi pada sistem utama tanpa DVA dan dengan DVA disimulasikan menggunakan MATLAB Simulink. Simulasi yang dilakukan memiliki time stop selama 2 detik. *Input* yang diberikan berupa sinusoidal (harmonik) pada sistem utama yang memiliki variasi kecepatan fluida, variasi peletakan DVA dan variasi rasio massa DVA. Variasi Kecepatan fluida pada pemodelan ini mengacu pada nilai Re yaitu sebesar 12188 sehingga kecepatan fluidanya sebesar 0.3 m/s, nilai Re 20312 sehingga kecepatan fluidanya sebesar 0.5 m/s dan nilai Re 28437 sehingga kecepatan fluidanya sebesar 0.7 m/s, dimana ketiga nilai Re tersebut merupakan aliran *turbulent*. Variasi Peletakan DVA merujuk pada eskperimen dengan peletakan DVA pada *input*, *bend* dan *output* dari pipa *elbow* 90°. Variasi Massa DVA yang digunakan yaitu 1/10, 1/20 dan 1/30 dari massa utama. *Output* yang dihasilkan dari simulasi berupa respon getaran sebelum penambahan DVA dan setelah penambahan DVA serta persentase reduksi percepatan

4.3.1 Pemodelan Simulasi Frekuensi Natural Tanpa DVA dan Dengan Menggunakan DVA

a. Tanpa DVA

Pemodelan simulasi tanpa DVA ini dilakukan dengan variasi kecepatan fluida yang mengacu pada nilai Re yaitu sebesar 12188 sehingga kecepatan fluidanya sebesar 0.3 m/s, nilai Re 20312 sehingga kecepatan fluidanya sebesar 0.5 m/s dan nilai Re 28437 sehingga kecepatan fluidanya sebesar 0.7 m/s.



Gambar 4.15 Bode diagram massa utama dengan variasi kecepatan fluida

Gambar 4.15 menunjukkan besarnya amplitudo respon terhadap domain frekuensi. Pada bode digaram di atas didapatkan frekuensi operasi sebesar 276,64 rad/s, dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa frekuensinya tidak berubah secara signifikan akibat pengaruh dari kecepatan fluida. Dimana frekuensi operasi tanpa DVA mempunyai nilai yang sama dengan frrekuensi natural. Sehingga dari hasil simulasi ini digunakanlah satu frekuensi untuk menganalisa variasi posisi peletakan DVA dan variasi massa DVA yaitu 276,64 rad/s.

b. Dengan DVA Pada Variasi Posisi Peletakan DVA

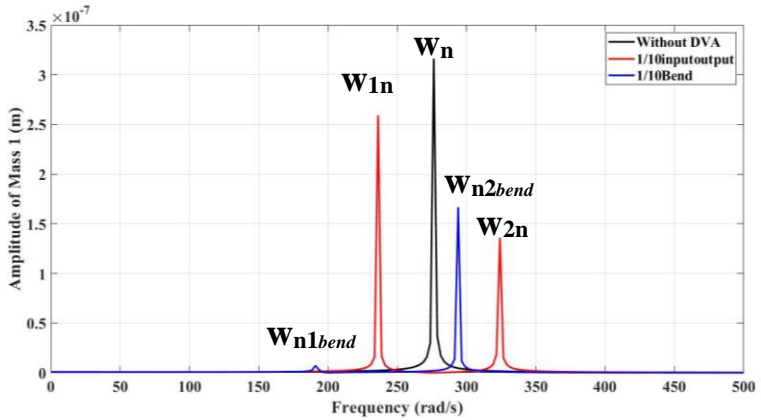
Pemodelan simulasi dengan variasi peletakan DVA dilakukan di tiga tempat yaitu di *input* dari pipa *elbow* 90° . Di *bend* dari pipa *elbow* 90° dan di *output* dari pipa *elbow* 90° dengan masing-masing variasi kecepatan fluida sebesar 0.3 m/s, 0.5 m/s hingga 0.7 m/s. Peredaman dilakukan dengan tujuan mendapatkan posisi paling optimal dimana getaran dapat diredam untuk masing-masing variasi kecepatan fluida dengan massa DVA 1/20.

Gambar 4.16 hingga gambar 4.18, menunjukkan besarnya amplitudo respon terhadap domain frekuensi. Pada bode digaram tersebut garis berwarna hitam merupakan grafik yang dibentuk oleh sistem utama tanpa penambahan DVA, sedangkan grafik berwarna merah merupakan grafik sistem utama dengan penambahan DVA dengan massa 1/10, 1/20 dan 1/30 di letakan di *input* dan *output* dari pipa *elbow* 90° dan grafik berwarna biru merupakan grafik sistem utama yang telah ditambahkan DVA dengan massa 1/10, 1/20 dan 1/30 di letakan di *bend* dari pipa *elbow* 90°.

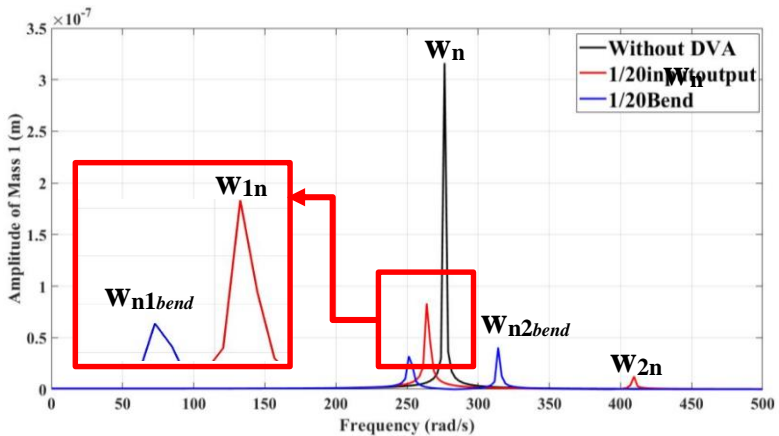
Dari simulasi *bodediagram* gambar 4.16 Dari analisa yang telah dilakukan, didapatkan bahwa ketika rasio massa DVA 1/10 didapatkan bahwa peredaman paling optimal yaitu DVA di tempatkan di *input* dan *output* dari pipa *elbow*, hal ini dapat dilihat pada dari nilai amplitudo di *input* dan *output* lebih kecil daripada *amplitude* dari DVA di tempatkan di *bend*. Sedangkan pada saat rasio massa DVA 1/20 dan 1/30 didapatkan bahwa peredaman paling optimal yaitu pada saat DVA di tempatkan di belokan (*bend*) dari pipa *elbow* dapat dilihat dari *amplitude* yang dihasilkan di belokan (*bend*) dari pipa *elbow* lebih kecil daripada nilai *amplitude* di *input* dan *output* dari pipa *elbow*.

Tabel 4.3 Frekuensi natural dengan variasi peletakan DVA

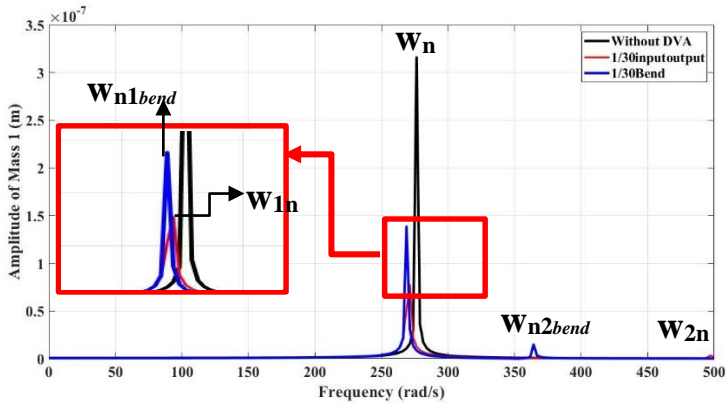
Tanpa DVA (rad/s)	Variasi peletakan DVA dengan massa DVA 1/10 (rad/s)		Variasi peletakan DVA dengan massa DVA 1/20 (rad/s)		Variasi peletakan DVA dengan massa DVA 1/30 (rad/s)	
	<i>Input & Output</i>	<i>Bend</i>	<i>Input & Output</i>	<i>Bend</i>	<i>Input & Output</i>	<i>Bend</i>
W _n = 276.64	W _{1n} = 270.34	W _{n1,bend} = 191.86	W _{1n} = 264.71	W _{n1,bend} = 252.32	W _{1n} = 270.34	W _{n1,bend} = 269.30
	W _{2n} = 323.82	W _{n2,bend} = 303.15	W _{2n} = 408.87	W _{n2,bend} = 314.65	W _{2n} = 496.56	W _{n2,bend} = 364.746



Gambar 4.16 Bode diagram massa utama dengan variasi posisi peletakan DVA 1/10 dari massa utama



Gambar 4.17 Bode diagram massa utama dengan variasi posisi peletakan DVA 1/20 dari massa utama



Gambar 4.18 Bode diagram massa utama dengan variasi posisi peletakan DVA 1/30 dari massa utama

Dari analisa yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa ketika massa DVA 1/10 didapatkan bahwa peredaman paling optimal yaitu DVA di tempatkan di *input* dan *output* dari pipa *elbow*. Tetapi pada saat massa DVA 1/20 dan 1/30 peredaman akan lebih optimal ketika DVA di tempatkan di *bend* dari pipa *elbow* 90° dibandingkan dengan DVA di tambahkan di *input* dan *output* dari pipa *elbow* 90°.

c. Dengan DVA Pada Variasi Massa DVA

Pemodelan simulasi dengan variasi massa DVA dilakukan dengan variasi 1/10, 1/20 dan 1/30 dari massa utama dengan masing-masing variasi kecepatan fluida sebesar 0.3 m/s, 0.5 m/s hingga 0.7 m/s dan masing-masing posisi peletakan DVA di *input* dari pipa *elbow* 90°. Di *bend* dari pipa *elbow* 90° dan di *output* dari pipa *elbow* 90°. Peredaman dilakukan dengan tujuan mendapatkan massa paling optimal untuk meredam getaran di masing-masing variasi kecepatan dan posisi peletakan DVA.

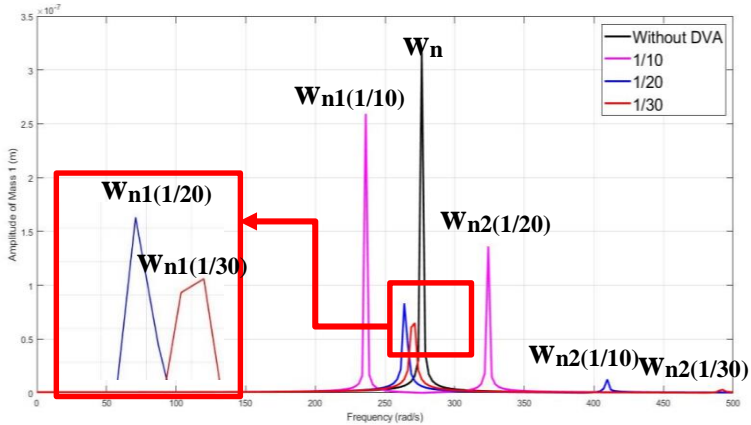
Gambar 4.19 dan 4.20 menunjukkan besarnya amplitudo respon terhadap domain frekuensi. Pada bode digaram tersebut garis berwarna hitam merupakan grafik yang dibentuk oleh

sistem utama tanpa DVA, sedangkan grafik berwarna magenta merupakan grafik sistem utama dengan penambahan DVA dengan massa 1/10 dari massa utama, lalu grafik berwarna biru merupakan grafik sistem utama dengan penambahan DVA dengan massa 1/20 dari massa utama dan grafik berwarna merah merupakan grafik sistem utama dengan penambahan DVA dengan massa 1/30 dari massa utama.

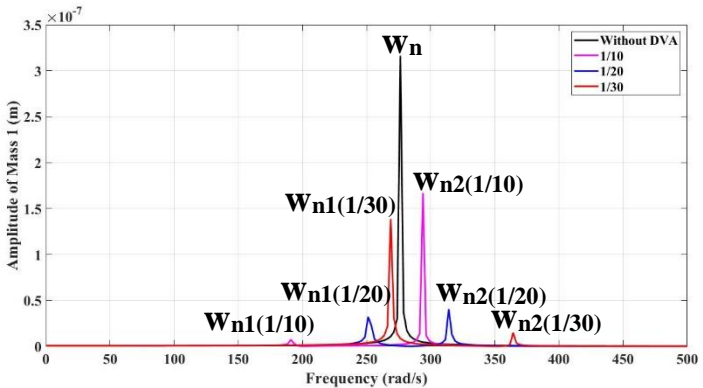
Dari simulasi bode diagram gambar 4.19 dan 4.20 tersebut didapatkan nilai frekuensi natural untuk masing-masing variasi massa DVA yang ditunjukkan oleh tabel 4.4, dari hasil simulasi tersebut didapatkan bahwa sebelum penambahan DVA, besar frekuensi natural sistem utama yaitu sebesar 276.64 rad/s dan dari ketiga rasio massa DVA yang ada, ketiganya mampu meredam getaran di frekuensi natural dari sistem utama. Dari hasil simulasi bode diagram tersebut, peredaman paling optimal yaitu pada saat massa DVA sebesar 1/10, kemudian di ikuti oleh massa DVA 1/20 dan 1/30. Hal ini dapat dilihat dari *amplitude* yang dihasilkan rasio massa 1/10 yang lebih kecil dibandingkan dengan *amplitude* dari rasio massa DVA lainnya.

Tabel 4.4 Frekuensi natural dengan variasi massa DVA

Tanpa DVA (rad/s)	Dengan variasi massa DVA di <i>Input & Output</i> (rad/s)		
	DVA 1/10	DVA 1/20	DVA 1/30
$w_n = 276.64$	$w_{n1} = 236.338$	$w_{n1} = 264.707$	$w_{n1} = 270.144$
	$w_{n2} = 323.820$	$w_{n2} = 408.872$	$w_{n2} = 491.299$
Tanpa DVA (rad/s)	Dengan variasi massa DVA di <i>bend</i> (rad/s)		
	DVA 1/10	DVA 1/20	DVA 1/30
$w_n = 276.64$	$w_{n1} = 191.86$	$w_{n1} = 252.324$	$w_{n1} = 274.36$
	$w_{n2} = 293.77$	$w_{n2} = 314.65$	$w_{n2} = 364.74$



Gambar 4.19 Bode diagram massa utama dengan variasi ratio massa DVA ditambahkan di *input* dan *output* dari pipa *elbow*



Gambar 4.20 Bode diagram massa utama dengan variasi ratio massa DVA di *bend*

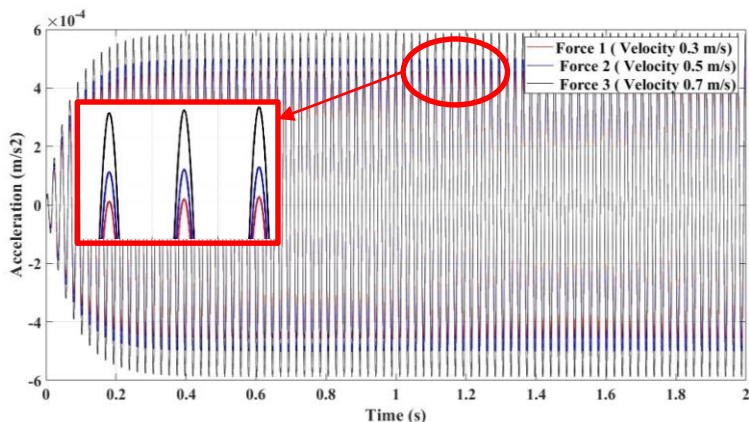
Dari analisa yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa peredaman paling optimal ketika rasio DVA sebesar 1/10. Kemudian di ikuti dengan rasio maassa DVA sebesar 1/20 dan rasio massa DVA sebesar 1/30.

4.4 Analisa Respon

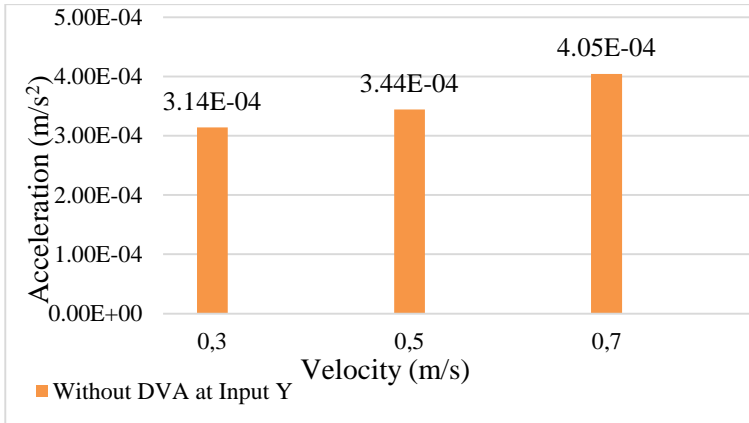
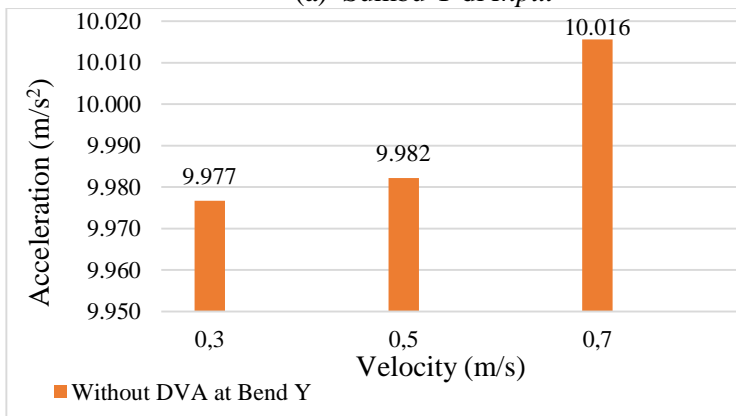
Penelitian pada tugas akhir ini dilakukan dengan simulasi menggunakan Simulink Matlab yang diawali dengan proses pembuatan blok-blok diagram simulasi. Blok diagram simulasi digambarkan dalam pembahasan pada sub bab 4.2 untuk masing-masing sistem. *input* yang diberikan berupa sinusoidal (harmonik) pada sistem utama yang memiliki variasi kecepatan fluida, variasi peletakan DVA dan variasi rasio massa DVA. Dari penelitian yang telah dilakukan, *Output* yang dihasilkan dari adalah berupa respon getaran sebelum penambahan DVA dan setelah penambahan DVA serta persentase reduksi percepatan.

4.4.1 Analisa Respon Getaran Sistem Utama Tanpa DVA

Analisa respon getaran translasi dilakukan pada arah sumbu y dan x berdasarkan variasi kecepatan fluida yaitu 0.3 m/s, 0.5 m/s, 0.7 m/s. Simulasi dilakukan dengan menggunakan frekuensi operasi sebesar 276.64 rad/s. Proses simulasi dilakukan untuk mendapatkan respon getaran sistem utama dalam bentuk percepatan seperti pada gambar 4.21 dan 4.23



Gambar 4.21 Grafik respon percepatan getaran translasi sistem utama saat variasi kecepatan fluida arah sumbu Y di *Input*

(a) Sumbu Y di *Input*(b) Sumbu Y di *Bend*

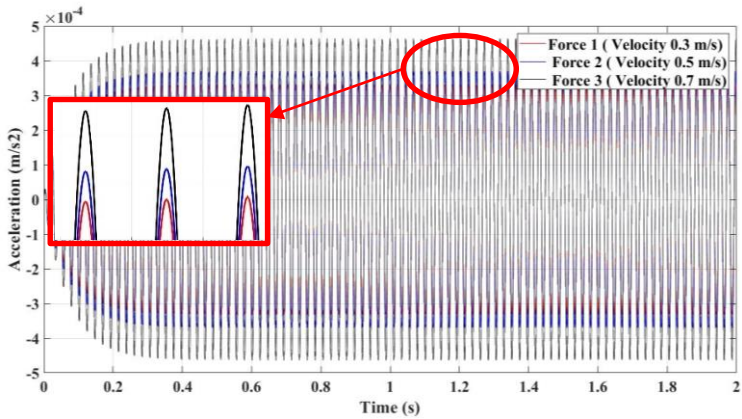
Gambar 4.22 Grafik nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama dengan variasi kecepatan fluida arah (a) Sumbu Y di *Input*, (b) Sumbu Y di *Bend*

Gambar 4.21 dan 4.23 merupakan respon perbandingan percepatan variasi kecepatan fluida sumbu y dan sumbu x. Berdasarkan grafik tersebut, dapat dilihat untuk garis berwarna merah menunjukkan kecepatan 0.3 m/s, garis biru menunjukkan kecepatan 0.5 m/s dan garis berwarna hitam menunjukkan kecepatan 0.7 m/s. Dari grafik tersebut terlihat bahwa pada

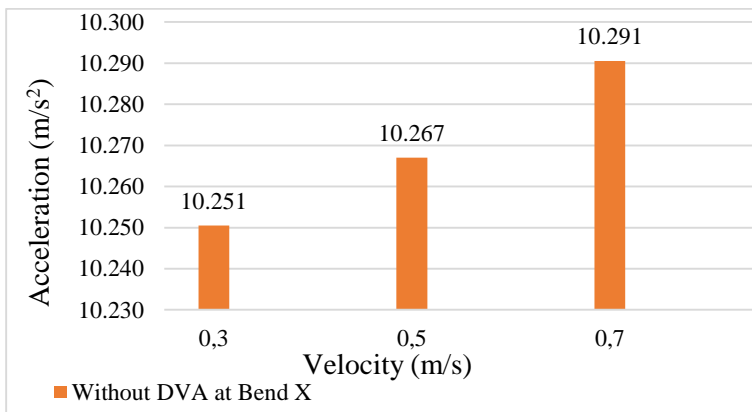
kecepatan 0.7 m/s mempunyai respon percepatan paling besar, dilanjutkan dengan kecepatan 0.5 m/s dan 0.3 m/s. Hal ini seperti pada dasar teori, dimana apabila kecepatan meningkat maka frekuensi meningkat dan getaran juga meningkat. Untuk memastikan nilai respon yang didapatkan dilakukan perhitungan RMS dari respon percepatan getaran sistem utama pada masing-masing variasi kecepatan sehingga didapatkan grafik seperti pada gambar 4.22 dan 4.24.

Gambar 4.22 merupakan grafik nilai percepatan getaran arah sumbu Y dan gambar 4.24 merupakan grafik nilai percepatan getaran arah sumbu X, didapatkan *trendline* grafik meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan fluida. Hal ini karena gaya yang didapatkan juga meningkat seiring bertambahnya kecepatan fluida. Dimana gaya tersebut yang menyebabkan terjadinya getaran pada sistem utama. Semakin besar gaya yang dihasilkan maka semakin besar pula nilai dari percepatannya. Pada Gambar 4.16 dihasilkan nilai respon terbesar pada saat kecepatan 0.7 m/s dengan nilai respon percepatan sebesar $4.05 \times 10^{-4} \text{ m/s}^2$ untuk posisi *input* dan 10.016 m/s^2 untuk posisi *bend* arah sumbu y. Untuk gambar 4.18 dihasilkan nilai respon terbesar pada saat kecepatan 0.7 m/s dengan nilai respon percepatan sebesar 10.291 m/s^2 untuk posisi *bend* arah sumbu x dan $3.19 \times 10^{-4} \text{ m/s}^2$ untuk posisi *output*.

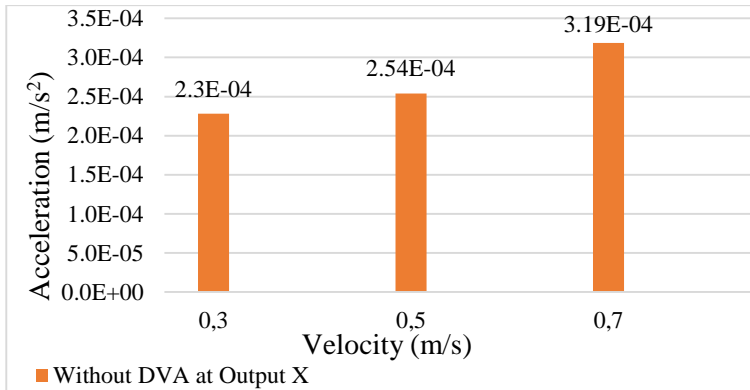
Nilai dari percepatan paling besar baik sumbu x maupun y di setiap percepatan terletak di posisi *bend* atau belokan dari pipa *elbow*. Getaran pada belokan (*bend*) pada pipa *elbow* lebih besar dibandingkan pada *input* dan *output*, hal ini disebabkan karena gesekan *vortex* dan gaya momentum yang dihasilkan fluida di belokan (*bend*) dari pipa *elbow* besar dibandingkan dengan di *input* dan *output*. Tetapi untuk nilai respon percepatan yang didapatkan di *bend* baik sumbu x maupun sumbu y di masing-masing kecepatan relatif tidak berubah secara signifikan. Hal ini disebabkan karena perbedaan gaya sebagai sumber *inputan* yang menyebabkan getaran antara satu kecepatan dan kecepatan lainnya di *bend* tidak berubah secara signifikan sehingga nilai respon percepatannya tidak berubah secara signifikan.



Gambar 4.23 Perbandingan grafik respon percepatan getaran translasi sistem utama saat variasi kecepatan fluida arah sumbu X di *Output*



(a) Sumbu X di *Bend*

(b) Sumbu X di *Output*

Gambar 4.24 Grafik nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama dengan variasi kecepatan fluida arah (a) Sumbu X di *Bend*, (b) Sumbu X di *Output*

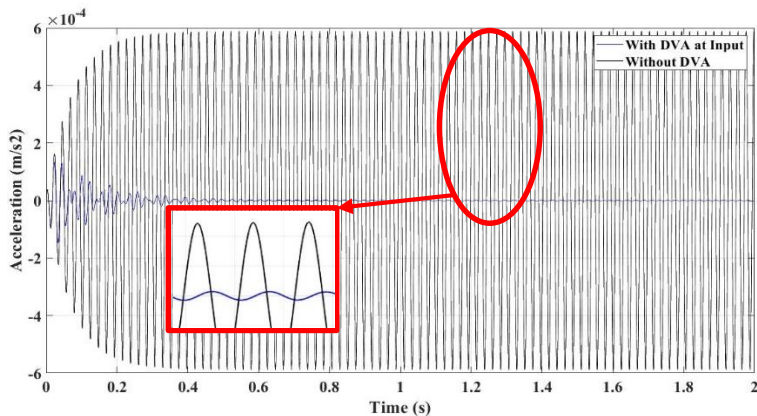
Berdasarkan keseluruhan analisa yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa respon percepatan getaran sistem utama tanpa penambahan DVA paling besar dihasilkan pada saat kecepatan fluida 0.7 m/s baik di *input*, *bend* maupun *output* dari pipa *elbow* 90°, dimana pada saat kecepatan fluida 0.7 m/s menghasilkan gaya paling besar sehingga respon percepatan getaran yang didapat memiliki nilai yang besar. Nilai dari percepatan paling besar baik arah sumbu y maupun arah sumbu x di setiap kecepatan fluida terletak di posisi *bend* atau belokan dari pipa *elbow*, hal ini disebabkan karena gesekan *vortex* dan gaya momentum yang dihasilkan fluida di belokan (*bend*) dari pipa *elbow* besar seperti pada penjelasan sub bab 4.1.3. Tetapi untuk perbedaan nilai dari respon percepatan di setiap variasi kecepatan fluida relatif tidak berbeda secara signifikan. Hal ini dikarenakan gaya yang dihasilkan kecil sehingga tidak menimbulkan perbedaan nilai respon yang besar di setiap variasi kecepatannya.

4.4.2 Analisa Respon Getaran dengan Variasi Peletakan DVA

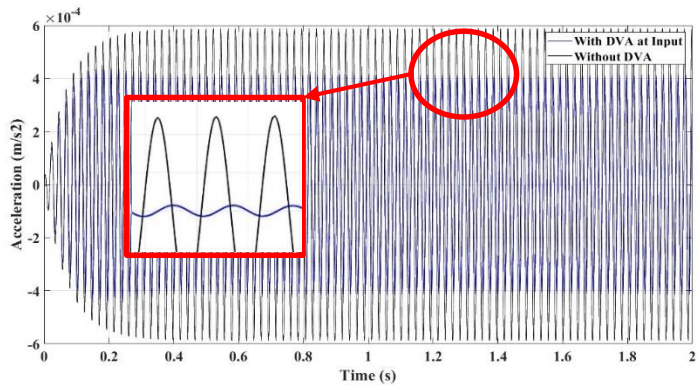
Analisa respon getaran sistem utama dengan penambahan DVA dilakukan berdasarkan variasi peletakan DVA terhadap sistem utama yang digunakan, yaitu pada posisi DVA di letakan di *input* pada pipa *elbow* 90°, *output* pada pipa *elbow* 90° dan *bend* pada pipa *elbow* 90° dengan menggunakan massa DVA sebesar 1/10, 1/20 dan 1/30 dari massa sistem utama untuk masing-masing variasi kecepatan fluida. Proses simulasi dilakukan untuk mendapatkan respon percepatan getaran trasnlati arah sumbu y dan arah sumbu x yang kemudian dibandingkan dengan hasil respon getaran sistem utama tanpa DVA.

4.4.2.1 Posisi Peletakan DVA di *Input*

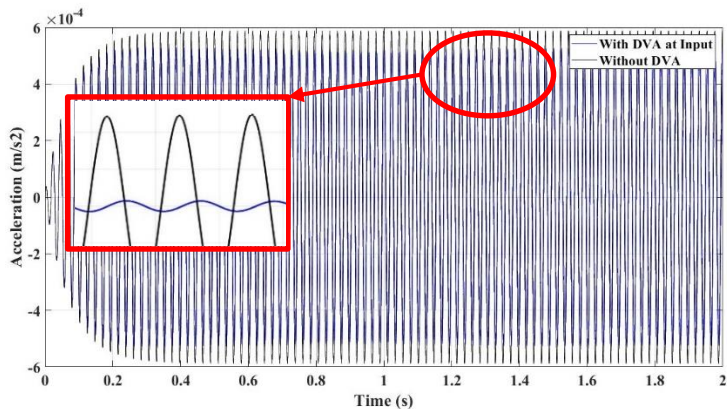
Posisi dari DVA diletakan pada *input* dari pipa *elbow* 90° seperti pada gambar 3.6 (a). Peletakan DVA pada *input* dari pipa *elbow* 90° bertujuan untuk meredam getaran ke arah y di semua variasi kecepatan fluida yaitu 0.3 m/s, 0.5 m/s dan 0.7 m/s. Proses simulasi dilakukan untuk mendapatkan respon getaran sistem utama dalam bentuk percepatan seperti pada gambar 4.25 dibawah ini.



(a)



(b)

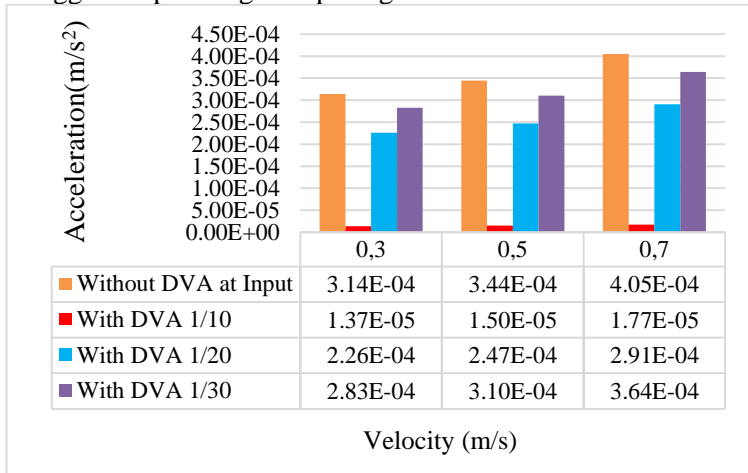


(c)

Gambar 4.25 Perbandingan grafik respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA berada di *input* dari pipa *elbow* 90° saat kecepatan fluida 0.7 m/s dengan rasio massa DVA 1/10 (a) rasio massa DVA 1/20 (b) dan rasio massa DVA 1/30(c)

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, gambar 4.19 merupakan perbandingan respon percepatan getaran sistem utama

dengan penambahan DVA berada di *input* dari pipa *elbow* 90° untuk arah sumbu y pada masing-masing variasi kecepatan fluida. Berdasarkan grafik tersebut garis berwarna hitam menunjukkan sistem utama tanpa DVA dan garis berwarna biru menunjukkan sistem utama dengan penambahan DVA berada pada *input* dari pipa *elbow* 90°. Dari grafik tersebut terlihat bahwa respon percepatan getaran sistem utama setelah penambahan DVA di semua variasi kecepatan fluida, lebih kecil dibanding sebelum penambahan DVA. Untuk memastikan nilai respon yang didapat, dilakukan perhitungan RMS dari respon percepatan getaran sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA berada pada *input* dari pipa *elbow* 90° pada masing-masing variasi kecepatan fluida sehingga didapatkan grafik pada gambar 4.26



Gambar 4.26 Grafik nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA berada di *input* dari pipa *elbow* 90° saat variasi kecepatan fluida 0.3 m/s, 0.5 m/s dan 0.7 m/s

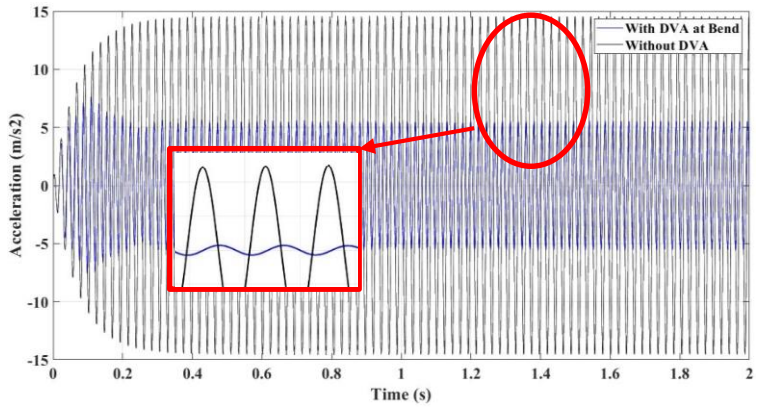
Pada gambar 4.26, menunjukkan nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA berada di *input* dari pipa *elbow* 90° untuk setiap variasi

kecepatan fluida. Nilai respon percepatan getaran pada saat kecepatan fluida 0.7 m/s sebelum penambahan DVA nilai dari respon getaran sebesar $4.05 \times 10^{-4} \text{ m/s}^2$ dan nilai dari respon percepatan mengalami peredaman setelah penambahan DVA 1/10 menjadi $1.77 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$, dengan penambahan DVA 1/20 didapatkan nilai dari respon percepatan sebesar $2.91 \times 10^{-4} \text{ m/s}^2$ dan dengan DVA 1/30 didapatkan nilai respon percepatan sebesar $3.64 \times 10^{-4} \text{ m/s}^2$. Dari hasil simulasi yang dilakukan, didapatkan bahwa nilai respon percepatan ketika DVA di tempatkan di *input* dari pipa *elbow* 90° dengan rasio massa DVA 1/10,1/20 dan 1/30 memiliki bentuk *trendline* yang sama untuk setiap variasi kecepatan fluida yaitu terjadi penurunan nilai respon yang cukup signifikan saat penambahan DVA. Tetapi perbedaan nilai dari respon percepatan di setiap variasi kecepatan fluida relatif tidak berbeda secara signifikan. Hal ini dikarenakan gaya yang dihasilkan kecil sehingga tidak menimbulkan perbedaan nilai respon yang besar di setiap variasi kecepatannya.

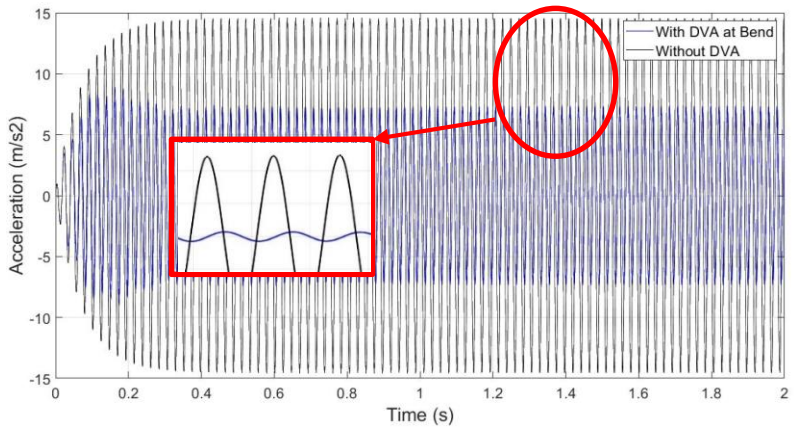
4.4.2.2 Posisi Peletakan DVA di Bend

Posisi dari DVA diletakan pada *bend* dari pipa *elbow* 90° seperti pada gambar 3.6 (b). Peletakan DVA pada *bend* dari pipa *elbow* 90° bertujuan untuk meredam getaran ke arah sumbu y dan ke arah sumbu x di semua variasi kecepatan fluida yaitu 0.3 m/s, 0.5 m/s dan 0.7 m/s. Proses simulasi dilakukan untuk mendapatkan respon getaran sistem utama dalam bentuk percepatan arah sumbu y dan arah sumbu x seperti pada gambar 4.27 dan 4.29.

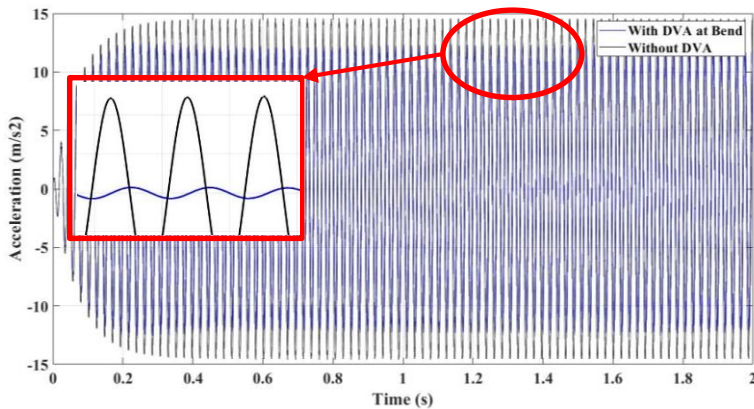
1. Posisi Peletakan DVA di Bend Sumbu Y



(a)



(b)

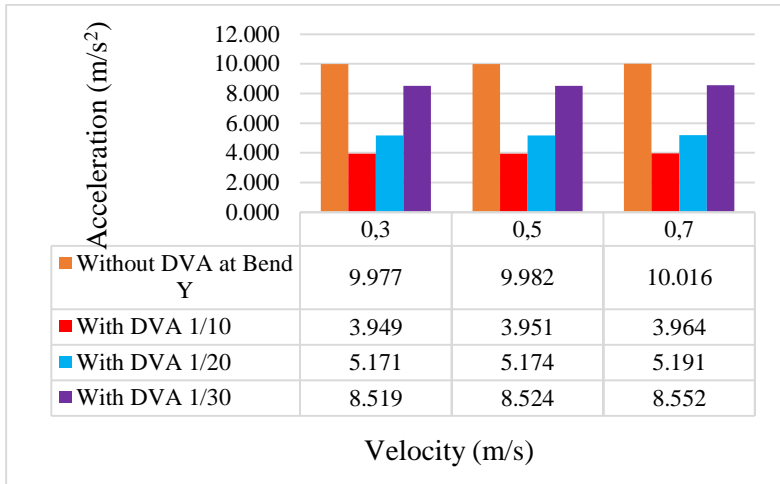


(c)

Gambar 4.27 Perbandingan grafik respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA berada di *bend* dari pipa *elbow* 90° saat kecepatan fluida 0.7 m/s dengan massa DVA 1/10 (a) massa DVA 1/20 (b) dan massa DVA 1/30(c)

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, gambar 4.27 merupakan perbandingan respon percepatan getaran sistem utama dengan penambahan DVA berada di *bend* dari pipa *elbow* 90° untuk arah sumbu y pada masing-masing variasi kecepatan fluida. Berdasarkan gambar 4.27 tersebut garis berwarna hitam menunjukkan sistem utama tanpa DVA dan garis berwarna biru menunjukkan sistem utama dengan penambahan DVA berada pada *bend* dari pipa *elbow* 90° . Dari grafik tersebut terlihat bahwa respon percepatan getaran sistem utama setelah penambahan DVA di semua variasi kecepatan fluida, lebih kecil dibanding sebelum penambahan DVA. Hal tersebut terjadi karena energi getaran yang dihasilkan oleh sistem utama akibat gaya dari fluida yang mengenai pipa diserap oleh DVA yang dipasang pada sistem, sehingga respon percepatan getaran yang dihasilkan oleh sistem menjadi lebih kecil. Untuk memastikan nilai respon yang didapat,

dilakukan perhitungan RMS dari respon percepatan getaran sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA berada pada *bend* dari pipa *elbow* 90° pada masing-masing variasi kecepatan fluida sehingga didapatkan grafik pada gambar 4.28.

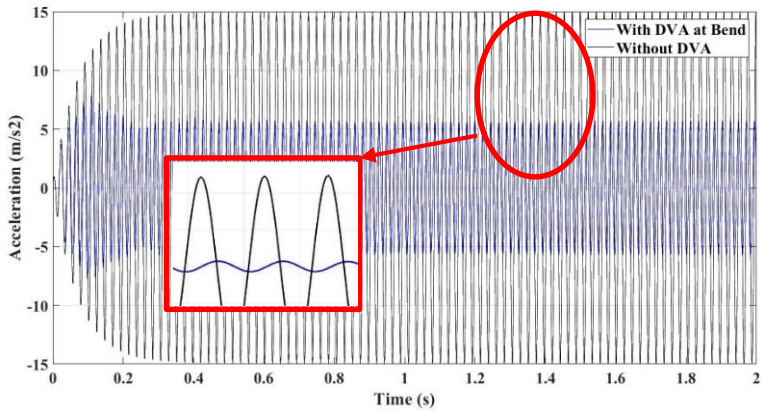


Gambar 4.28 Grafik nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA berada di *bend* dari pipa *elbow* 90° saat variasi kecepatan fluida 0.3 m/s, 0.5 m/s dan 0.7 m/s

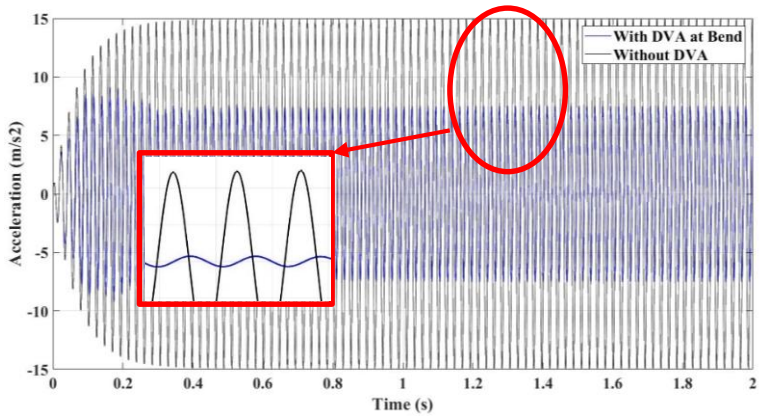
Pada gambar 4.28, menunjukkan nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA berada di *bend* dari pipa *elbow* 90° untuk setiap variasi kecepatan fluida. Nilai respon percepatan getaran pada saat kecepatan fluida 0.7 m/s sebelum penambahan DVA nilai dari respon getaran sebesar 10.016 m/s² dan nilai dari respon percepatan mengalami peredaman setelah penambahan DVA 1/10 menjadi 3.964 m/s², dengan penambahan DVA 1/20 didapatkan nilai dari respon percepatan sebesar 5.191 m/s² dan dengan DVA 1/30 didapatkan nilai respon percepatan sebesar 8.552 m/s². Dari hasil simulasi yang dilakukan, didapatkan bahwa nilai respon

percepatan ketika DVA di tempatkan di *bend* dari pipa *elbow* 90° dengan rasio massa DVA 1/10, 1/20 dan 1/30 memiliki bentuk *trendline* yang sama untuk setiap variasi kecepatan fluida yaitu terjadi penurunan nilai respon yang cukup signifikan saat penambahan DVA. Tetapi perbedaan nilai dari respon percepatan di setiap variasi kecepatan fluida relatif tidak berbeda secara signifikan. Hal ini dikarenakan gaya yang dihasilkan kecil sehingga tidak menimbulkan perbedaan nilai respon yang besar di setiap variasi kecepatannya.

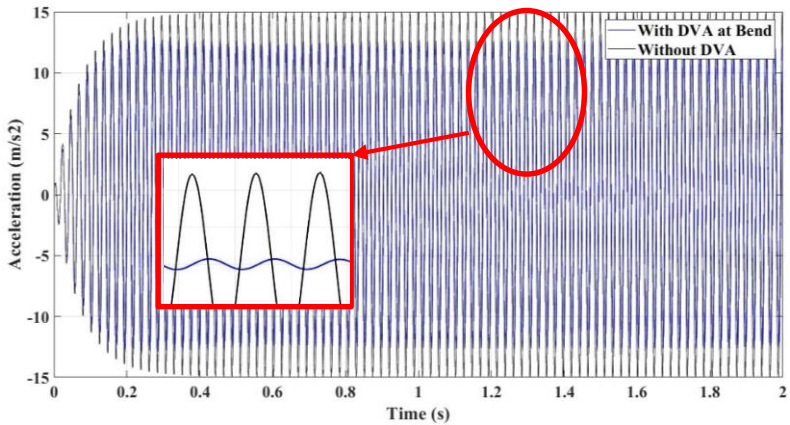
2. Posisi Peletakan DVA di *Bend* Sumbu X



(a)



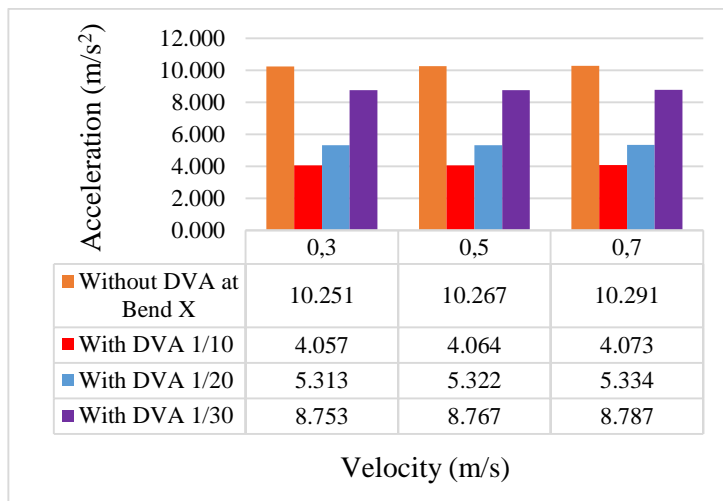
(b)



(c)

Gambar 4.29 Perbandingan grafik respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu x dengan penambahan DVA berada di *bend* dari pipa *elbow* 90° saat kecepatan fluida 0.7 m/s dengan massa DVA 1/10 (a) massa DVA 1/20 (b) dan massa DVA 1/30(c)

Selanjutnya gambar 4.29 merupakan perbandingan respon percepatan getaran sistem utama dengan penambahan DVA berada di *bend* dari pipa *elbow* 90° untuk arah sumbu x pada masing-masing variasi kecepatan fluida. Berdasarkan gambar 4.29 tersebut garis berwarna hitam menunjukkan sistem utama tanpa DVA dan garis berwarna biru menunjukkan sistem utama dengan penambahan DVA berada pada *bend* dari pipa *elbow* 90°. Dari grafik tersebut terlihat bahwa respon percepatan getaran sistem utama setelah penambahan DVA di semua variasi kecepatan fluida, lebih kecil dibanding sebelum penambahan DVA. Untuk memastikan nilai respon yang didapat, dilakukan perhitungan RMS dari respon percepatan getaran sistem utama arah sumbu x dengan penambahan DVA berada pada *bend* dari pipa *elbow* 90° pada masing-masing variasi kecepatan fluida sehingga didapatkan grafik pada gambar 4.30.

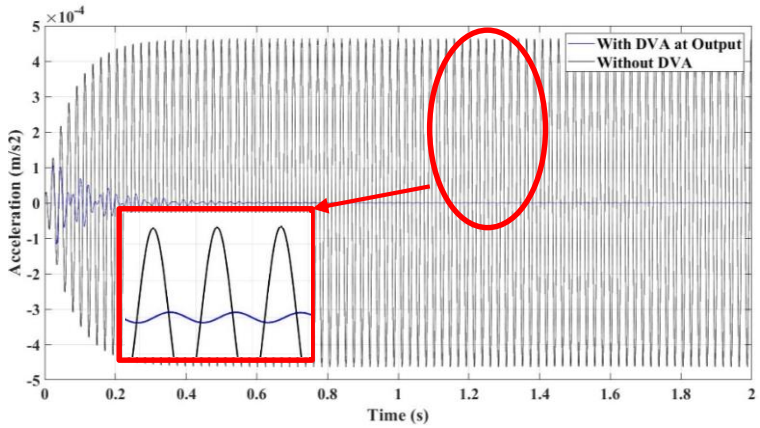


Gambar 4.30 Grafik nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu x dengan penambahan DVA berada di *bend* dari pipa *elbow* 90° saat variasi kecepatan fluida 0.3 m/s, 0.5 m/s dan 0.7 m/s.

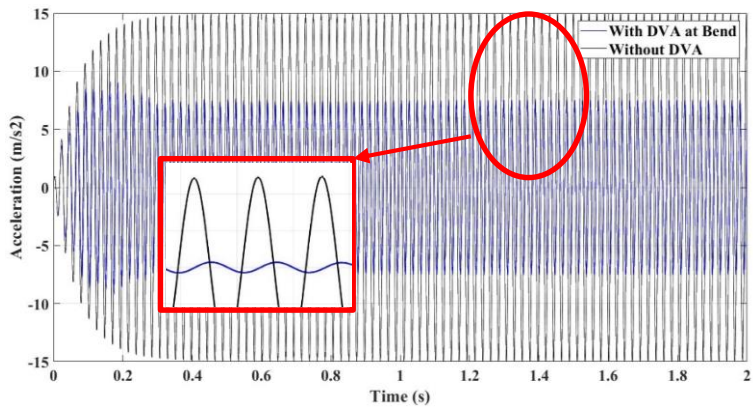
Pada gambar 4.30, menunjukkan nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu x dengan penambahan DVA berada di *bend* dari pipa *elbow* 90° untuk setiap variasi kecepatan fluida. Nilai respon percepatan getaran pada saat kecepatan fluida 0.7 m/s sebelum penambahan DVA nilai dari respon getaran sebesar 10.291 m/s² dan nilai dari respon percepatan mengalami peredaman setelah penambahan DVA 1/10 menjadi 4.073 m/s², dengan penambahan DVA 1/20 didapatkan nilai dari respon percepatan sebesar 5.334 m/s² dan dengan DVA 1/30 didapatkan nilai respon percepatan sebesar 8.787 m/s². Dari hasil simulasi yang dilakukan, didapatkan bahwa nilai respon percepatan ketika DVA di tempatkan di *bend* dari pipa *elbow* 90° dengan rasio massa DVA 1/10,1/20 dan 1/30 memiliki bentuk *trendline* yang sama untuk setiap variasi kecepatan fluida yaitu terjadi penurunan nilai respon yang cukup signifikan saat penambahan DVA. Tetapi perbedaan nilai dari respon percepatan di setiap variasi kecepatan fluida relatif tidak berbeda secara signifikan. Hal ini dikarenakan gaya yang dihasilkan kecil sehingga tidak menimbulkan perbedaan nilai respon yang besar di setiap variasi kecepatannya.

4.4.2.3 Posisi Peletakan DVA di Output

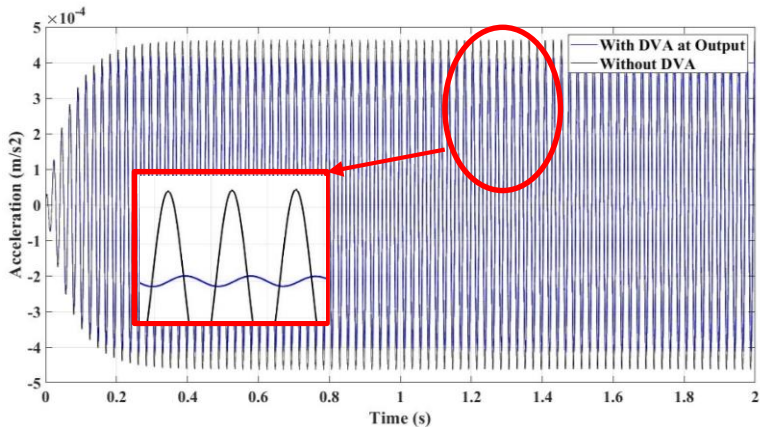
Posisi dari DVA diletakan pada *output* dari pipa *elbow* 90° seperti pada gambar 3.6 (c). Peletakan DVA pada *output* dari pipa *elbow* 90° bertujuan untuk meredam getaran ke arah sumbu x di semua variasi kecepatan fluida yaitu 0.3 m/s, 0.5 m/s dan 0.7 m/s. Proses simulasi dilakukan untuk mendapatkan respon getaran sistem utama dalam bentuk percepatan seperti pada gambar 4.31 dibawah ini.



(a)



(b)

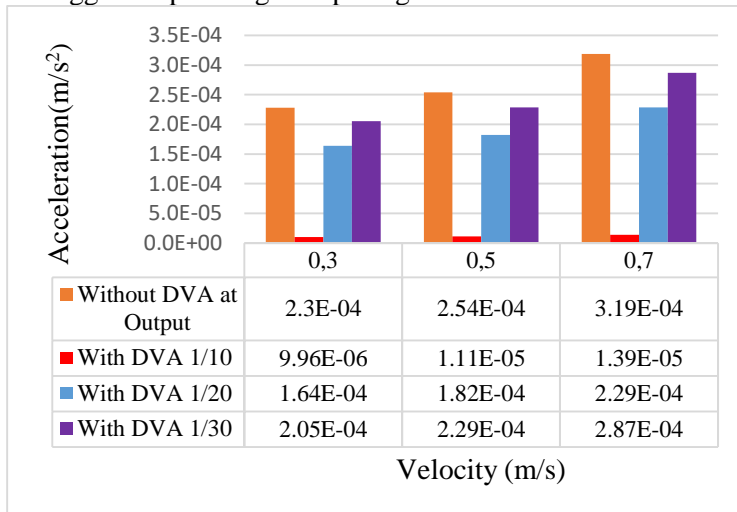


(c)

Gambar 4.31 Perbandingan grafik respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu x dengan penambahan DVA berada di *output* dari pipa *elbow* 90° saat kecepatan fluida 0.7 m/s dengan massa DVA 1/10 (a) massa DVA 1/20 (b) dan massa DVA 1/30(c)

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, gambar 4.31 merupakan perbandingan respon percepatan getaran sistem utama dengan penambahan DVA berada di *output* dari pipa *elbow* 90° untuk arah sumbu x pada masing-masing variasi kecepatan fluida. Berdasarkan grafik tersebut garis berwarna hitam menunjukkan sistem utama tanpa DVA dan garis berwarna biru menunjukkan sistem utama dengan penambahan DVA berada pada *output* dari pipa *elbow* 90°. Dari grafik tersebut terlihat bahwa respon percepatan getaran sistem utama setelah penambahan DVA di semua variasi kecepatan fluida, lebih kecil dibanding sebelum penambahan DVA. Hal tersebut terjadi karena energi getaran yang dihasilkan oleh sistem utama akibat gaya dari fluida yang mengenai pipa diserap oleh DVA yang dipasang pada sistem, sehingga respon percepatan getaran yang dihasilkan oleh sistem menjadi lebih kecil. Untuk memastikan nilai respon yang didapat,

dilakukan perhitungan RMS dari respon percepatan getaran sistem utama arah sumbu x dengan penambahan DVA berada pada *output* dari pipa *elbow* 90° pada masing-masing variasi kecepatan fluida sehingga didapatkan grafik pada gambar 4.32.



Gambar 4.32 Grafik nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu x dengan penambahan DVA di *output* dari pipa *elbow* 90° saat variasi kecepatan fluida 0.3 m/s, 0.5 m/s dan 0.7 m/s

Pada gambar 4.32, menunjukkan nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu x dengan penambahan DVA berada di *output* dari pipa *elbow* 90° untuk setiap variasi kecepatan fluida. Nilai respon percepatan getaran pada saat kecepatan fluida 0.7 m/s sebelum penambahan DVA nilai dari respon getaran sebesar $3.19 \times 10^{-4} \text{ m/s}^2$ dan nilai dari respon percepatan mengalami peredaman setelah penambahan DVA 1/10 menjadi $1.39 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$, dengan penambahan DVA 1/20 didapatkan nilai dari respon percepatan sebesar $2.29 \times 10^{-4} \text{ m/s}^2$ dan dengan DVA 1/30 didapatkan nilai respon percepatan sebesar $2.87 \times 10^{-4} \text{ m/s}^2$. Dari hasil simulasi yang dilakukan, didapatkan

bahwa nilai respon percepatan ketika DVA di tempatkan di *output* dari pipa *elbow* 90° dengan rasio massa DVA 1/10, 1/20 dan 1/30 memiliki bentuk *trendline* yang sama untuk setiap variasi kecepatan fluida yaitu terjadi penurunan nilai respon yang cukup signifikan saat penambahan DVA. Tetapi perbedaan nilai dari respon percepatan di setiap variasi kecepatan fluida relatif tidak berbeda secara signifikan. Hal ini dikarenakan gaya yang dihasilkan kecil sehingga tidak menimbulkan perbedaan nilai respon yang besar di setiap variasi kecepatannya.

Berdasarkan analisa respon percepatan dari sub bab 4.4.2.1 hingga 4.4.2.3 dengan variasi posisi peletakan DVA dengan kombinasi variasi massa DVA yang telah dilakukan. Didapatkan kesimpulan bahwa nilai respon percepatan DVA ketika ditempatkan di *input*, *bend* dan *output* memiliki getaran terbesar ketika kecepatan fluida 0.7 m/s. Sesuai dengan sub bab 4.4.1 sebelumnya, bahwa pada saat kecepatan fluida sebesar 0.7 m/s didapatkan respon getaran paling besar sehingga nilai dari respon percepatan getaran yang dihasilkan pun juga besar diantara variasi kecepatan fluida lainnya, meskipun sistem utama telah dilakukan penambahan DVA.

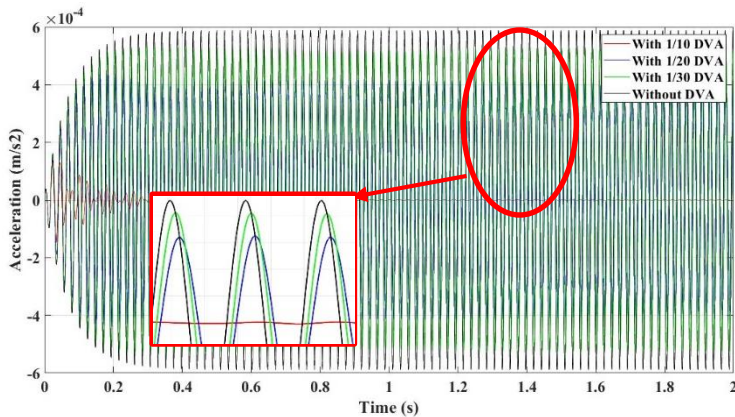
4.4.3 Analisa Respon Getaran dengan Variasi Rasio Massa DVA

Analisa respon getaran sistem utama dengan penambahan DVA dilakukan berdasarkan variasi rasio massa DVA terhadap sistem utama yang digunakan, yaitu sebesar 1/10, 1/20, dan 1/30 untuk masing-masing variasi kecepatan fluida dan masing-masing variasi posisi peletakan DVA. Proses simulasi dilakukan untuk mendapatkan respon percepatan getaran translasi arah x dan y, yang kemudian dibandingkan dengan hasil respon getaran sistem utama tanpa DVA.

4.4.3.1 Posisi Peletakan DVA di *Input*

Posisi dari DVA diletakan pada *input* dari pipa *elbow* 90° seperti pada gambar 3.6 (a). Peletakan DVA pada *input* dari pipa

elbow 90 bertujuan untuk meredam getaran ke arah y. Pada posisi peletakan DVA di *Input* ini dilakukan dengan memvariasikan massa dari DVA yaitu 1/10, 1/20 dan 1/30 dari massa utama di semua variasi kecepatan fluida yaitu 0.3 m/s, 0.5 m/s dan 0.7 m/s. Proses simulasi dilakukan untuk mendapatkan respon getaran sistem utama dalam bentuk percepatan seperti pada gambar 4.33 berikut ini.

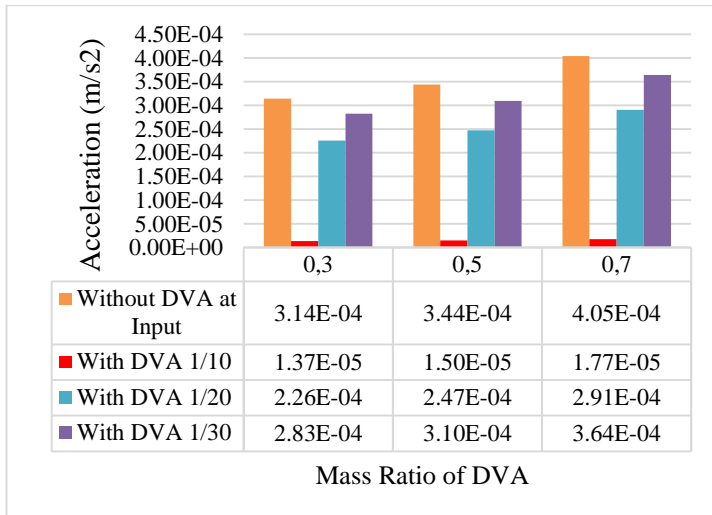


Gambar 4.33 Perbandingan grafik respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA berada di *input* dari pipa *elbow* 90° saat variasi kecepatan fluida 0.7 m/s (c)

Dari hasil simulasi didapatkan respon percepatan ketika DVA di tempatkan di *input* dari pipa *elbow* 90°. Gambar 4.33 merupakan perbandingan respon percepatan getaran sistem utama dengan penambahan DVA berada di *input* dari pipa *elbow* 90° untuk arah sumbu y pada masing-masing variasi kecepatan fluida. Berdasarkan grafik tersebut garis berwarna hitam menunjukkan sistem utama tanpa DVA, untuk garis berwarna merah menunjukkan sistem utama dengan penambahan DVA 1/10 dari massa utama, selanjutnya untuk garis berwarna biru menunjukkan sistem utama

dengan penambahan DVA 1/20 dari massa utama dan garis berwarna hijau menunjukkan sistem utama dengan penambahan DVA 1/30 dari massa utama. Dari grafik tersebut terlihat bahwa respon percepatan getaran sistem utama setelah penambahan DVA dengan variasi rasio massa DVA, lebih kecil dibanding sebelum penambahan DVA. Hal tersebut terjadi karena energi getaran yang dihasilkan oleh sistem utama akibat gaya dari fluida yang mengenai pipa diserap oleh DVA yang dipasang pada sistem, sehingga percepatan getaran yang dihasilkan oleh sistem menjadi lebih kecil.

Selain itu, dari penggunaan variasi rasio massa DVA terhadap sistem utama didapatkan hasil respon percepatan getaran paling kecil saat penambahan DVA dengan rasio massa 1/10, dilanjutkan dengan rasio massa 1/20 dan 1/30 secara berturut-turut di semua variasi kecepatan fluida. Hal tersebut karena DVA mampu meredam getaran paling optimal pada saat memiliki rasio massa 1/10 dari massa sistem utamaa. Hal ini sesuai dengan sub bab 4.3.1c, dimana pada *bodediagram* gambar 4.13 menunjukan pada saat rasio massa DVA 1/10,1/20 dan 1/30 dari massa utama dengan DVA diletakan di *input* didapatkan hasil bahwa ketiga rasio massa dapat meredam getaran di sistem utama, tetapi untuk rasio massa DVA 1/10 mampu meredam getaran secara optimal dibandingkan dengan rasio massa DVA yang lain, sehingga respon percepatan yang dihasilkan yaitu lebih kecil daripada variasi rasio massa yang lainnya. Untuk memastikan nilai respon yang didapat, dilakukan perhitungan RMS dari respon percepatan getaran sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA pada masing-masing variasi kecepatan fluida seperti pada gambar 4.34.



Gambar 4.34 Grafik nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA di *input* dari pipa *elbow* 90° saat variasi kecepatan fluida 0.3 m/s , 0.5 m/s dan 0.7 m/s

Pada gambar 4.34 menunjukkan nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA berada di *input* dari pipa *elbow* 90° untuk setiap variasi kecepatan fluida. Nilai respon percepatan getaran pada saat kecepatan fluida 0.7 m/s sebelum penambahan DVA yaitu sebesar $4.05 \times 10^{-4} \text{ m/s}^2$ dan nilai dari respon percepatan mengalami peredaman setelah penambahan DVA untuk rasio 1/10 sebesar $1.77 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$, 1/20 sebesar $2.91 \times 10^{-4} \text{ m/s}^2$ dan 1/30 sebesar $3.64 \times 10^{-4} \text{ m/s}^2$.

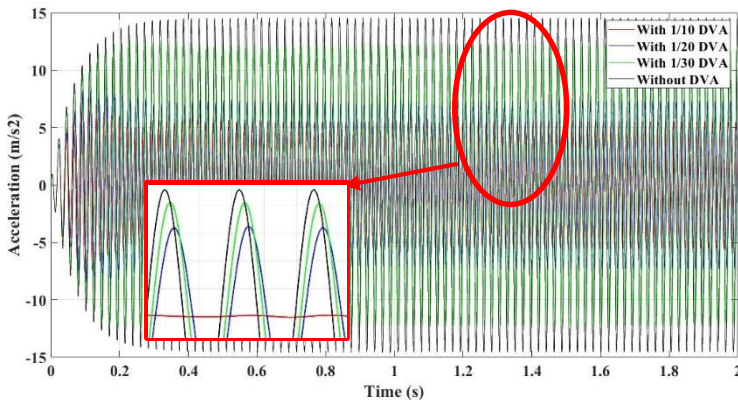
Berdasarkan nilai respon yang dihasilkan seperti pada gambar 4.34 untuk setiap variasi kecepatan fluida memiliki bentuk *trendline* grafik yang sama. Terjadi penurunan nilai respon yang cukup signifikan saat penambahan DVA, dengan hasil respon percepatan getaran paling kecil saat penambahan DVA dengan rasio massa 1/10, dilanjutkan variasi penambahan DVA dengan

rasio massa 1/20 dan 1/30. Sesuai dengan penjelasan di sub bab 4.3.1c dimana DVA dapat meredam getaran secara optimal pada sistem utama saat memiliki rasio massa 1/10 pada sistem utama dilanjutkan variasi penambahan DVA dengan rasio massa 1/20 dan 1/30 secara berturut-turut. Karena hal ini, nilai respon percepatan getaran yang dihasilkan rasio massa 1/10 paling kecil dibandingkan dengan DVA dengan rasio massa yang lainnya. Untuk kecepatan fluida yang digunakan, nilai respon percepatan getaran sistem utama dengan penambahan DVA terbesar dihasilkan saat kecepatan fluida 0.7 m/s pada seluruh variasi rasio massa DVA. Sesuai dengan sub bab 4.4.1 sebelumnya, bahwa pada saat kecepatan fluida sebesar 0.7 m/s didapatkan respon getaran paling besar sehingga nilai dari respon percepatan getaran yang dihasilkan pun juga besar diantara variasi kecepatan fluida lainnya, meskipun sistem utama telah dilakukan penambahan DVA.

4.4.3.2 Posisi Peletakan DVA di *Bend*

Posisi dari DVA diletakan pada *bend* dari pipa *elbow* 90° seperti pada gambar 3.6 (b). Peletakan DVA pada *bend* dari pipa *elbow* 90° bertujuan untuk meredam getaran ke arah sumbu y dan ke arah sumbu x. Pada posisi peletakan DVA di *bend* ini dilakukan dengan memvariasikan massa dari DVA yaitu 1/10, 1/20 dan 1/30 dari massa sistem utama di semua variasi kecepatan fluida yaitu pada 0.3 m/s, 0.5 m/s dan 0.7 m/s. Proses simulasi dilakukan untuk mendapatkan respon getaran sistem utama dalam bentuk percepatan sumbu y dan x seperti pada gambar 4.35 dan 4.37 dibawah ini.

1. Posisi Peletakan DVA di *Bend* Sumbu Y

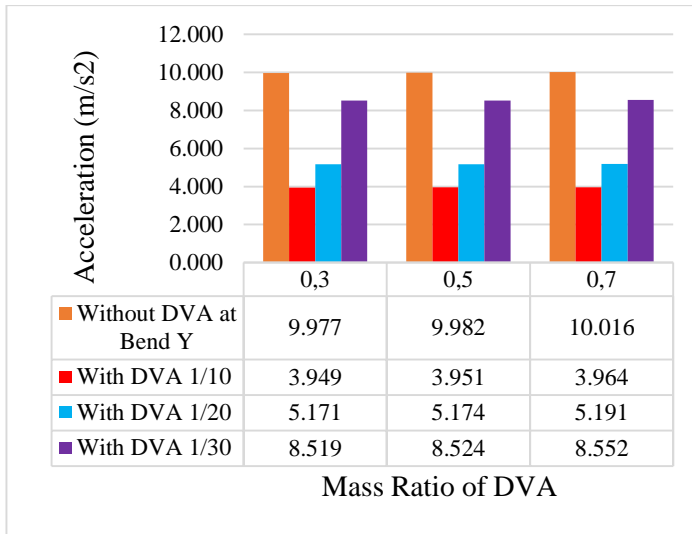


Gambar 4.35 Perbandingan grafik respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA berada di *bend* dari pipa *elbow* 90° saat variasi kecepatan fluida 0.7 m/s

Dari hasil simulasi didapatkan respon percepatan ketika DVA di tempatkan di *bend* dari pipa *elbow* 90°. Gambar 4.35 merupakan perbandingan respon percepatan getaran sistem utama dengan penambahan DVA berada di *bend* dari pipa *elbow* 90° untuk arah sumbu y pada masing-masing variasi kecepatan fluida. Berdasarkan grafik tersebut garis berwarna hitam menunjukkan sistem utama tanpa DVA, untuk garis berwarna merah menunjukkan sistem utama dengan penambahan DVA 1/10 dari massa utama, selanjutnya untuk garis berwarna biru menunjukkan sistem utama dengan penambahan DVA 1/20 dari massa utama dan garis berwarna hijau menunjukkan sistem utama dengan penambahan DVA 1/30 dari massa utama. Dari grafik tersebut terlihat bahwa respon percepatan getaran sistem utama setelah penambahan DVA dengan variasi rasio massa DVA, lebih kecil dibanding sebelum penambahan DVA. Hal tersebut terjadi karena energi getaran yang dihasilkan oleh sistem utama akibat gaya dari fluida yang mengenai pipa diserap oleh DVA yang dipasang pada sistem,

sehingga percepatan getaran yang dihasilkan oleh sistem menjadi lebih kecil.

Selain itu, dari penggunaan variasi rasio massa DVA terhadap sistem utama didapatkan hasil respon percepatan getaran paling kecil saat penambahan DVA dengan rasio massa 1/10, dilanjutkan dengan rasio massa 1/20 dan 1/30 secara berturut-turut di semua variasi kecepatan fluida. Hal tersebut karena DVA mampu meredam getaran paling optimal pada saat memiliki rasio massa 1/10 dari massa sistem utamaa. Hal ini sesuai dengan sub bab 4.3.1c, dimana pada *bodediagram* gambar 4.14 menunjukan pada saat rasio massa DVA 1/10,1/20 dan 1/30 dari massa utama dengan DVA diletakan di *bend* didapatkan hasil bahwa ketiga rasio massa dapat meredam getaran di sistem utama, tetapi untuk rasio massa DVA 1/10 mampu meredam getaran secara optimal dibandingkan dengan rasio massa DVA yang lain, sehingga respon percepatan yang dihasilkan yaitu lebih kecil daripada variasi rasio massa yang lainnya. Untuk memastikan nilai respon yang didapat, dilakukan perhitungan RMS dari respon percepatan getaran sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA pada masing-masing variasi kecepatan fluida seperti pada gambar 4.36.



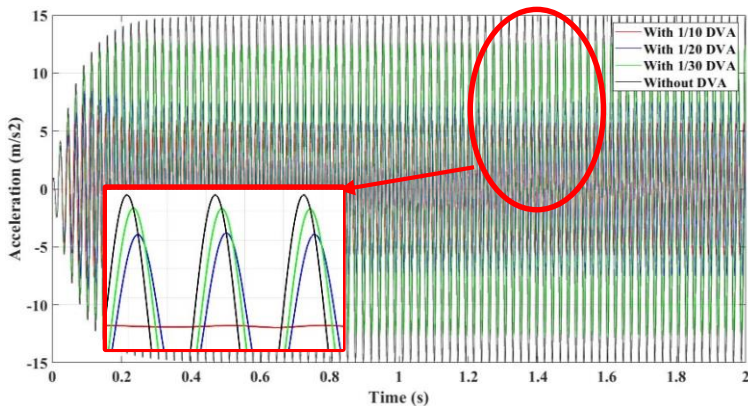
Gambar 4.36 Grafik nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA di *bend* dari pipa *elbow* saat variasi kecepatan fluida 0.3 m/s , 0.5 m/s dan 0.7 m/s

Pada gambar 4.36 menunjukkan nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA berada di *bend* dari pipa *elbow* 90° untuk setiap variasi kecepatan fluida. Nilai respon percepatan getaran pada saat kecepatan fluida 0.7 m/s sebelum penambahan DVA yaitu sebesar 10.016 m/s² dan nilai dari respon percepatan mengalami peredaman setelah penambahan DVA untuk rasio 1/10 sebesar 3.964 m/s² , 1/20 sebesar 5.191 m/s² dan 1/30 8.552 m/s². Berdasarkan nilai respon yang dihasilkan seperti pada gambar 4.30 untuk setiap variasi kecepatan fluida memiliki bentuk *trendline* grafik yang sama. Terjadi penurunan nilai respon yang cukup signifikan saat penambahan DVA, dengan hasil respon percepatan getaran paling kecil saat penambahan DVA dengan rasio massa

1/10, dilanjutkan variasi penambahan DVA dengan rasio massa 1/20 dan 1/30.

2. Posisi Peletakan DVA di *Bend* Sumbu X

Selanjutnya dilakukan analisa nilai percepatan getaran translasi sistem arah sumbu x dengan penambahan DVA berada di *bend* dari pipa *elbow* 90° untuk setiap variasi kecepatan fluida seperti pada gambar 4.37.

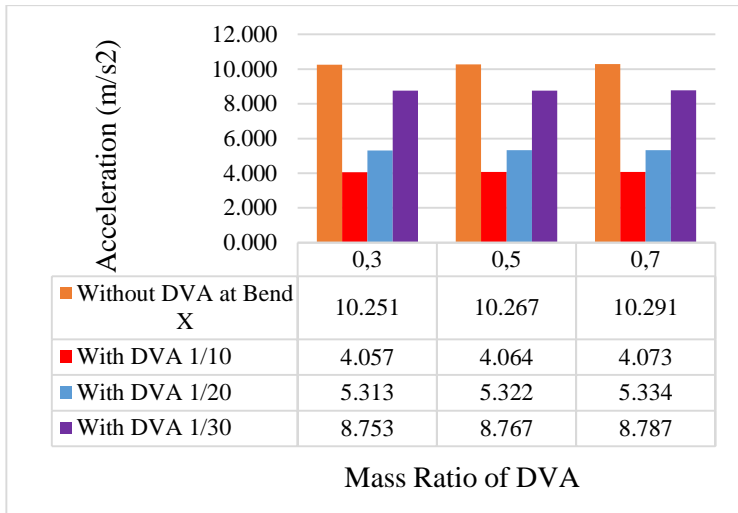


Gambar 4.37 Perbandingan grafik respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu x dengan penambahan DVA berada di *bend* dari pipa *elbow* 90° saat variasi kecepatan fluida 0.7 m/s

Dari hasil simulasi didapatkan respon percepatan ketika DVA di tempatkan di *bend* dari pipa *elbow* 90°. Gambar 4.37 merupakan perbandingan respon percepatan getaran sistem utama dengan penambahan DVA berada di *bend* dari pipa *elbow* 90° untuk arah sumbu x pada masing-masing kecepatan fluida. Berdasarkan grafik tersebut garis berwarna hitam menunjukkan sistem utama tanpa DVA, untuk garis berwarna merah menunjukkan sistem utama dengan penambahan DVA 1/10 dari massa utama, selanjutnya untuk garis berwarna biru menunjukkan sistem utama

dengan penambahan DVA 1/20 dari massa utama dan garis berwarna hijau menunjukkan sistem utama dengan penambahan DVA 1/30 dari massa utama. Dari grafik tersebut terlihat bahwa respon percepatan getaran sistem utama setelah penambahan DVA dengan variasi rasio massa DVA, lebih kecil dibanding sebelum penambahan DVA. Hal tersebut terjadi karena energi getaran yang dihasilkan oleh sistem utama akibat gaya dari fluida yang mengenai pipa diserap oleh DVA yang dipasang pada sistem, sehingga percepatan getaran yang dihasilkan oleh sistem menjadi lebih kecil.

Selain itu, dari penggunaan variasi rasio massa DVA terhadap sistem utama didapatkan hasil respon percepatan getaran paling kecil saat penambahan DVA dengan rasio massa 1/10, dilanjutkan dengan rasio massa 1/20 dan 1/30 secara berturut-turut di semua variasi kecepatan fluida. Hal tersebut karena DVA mampu meredam getaran paling optimal pada saat memiliki rasio massa 1/10 dari massa sistem utamaa. Hal ini sesuai dengan sub bab 4.3.1c, dimana pada *bodediagram* gambar 4.14 menunjukan pada saat rasio massa DVA 1/10,1/20 dan 1/30 dari massa utama dengan DVA diletakan di *bend* didapatkan hasil bahwa ketiga rasio massa dapat meredam getaran di sistem utama, tetapi untuk rasio massa DVA 1/10 mampu meredam getaran secara optimal dibandingkan dengan rasio massa DVA yang lain, sehingga respon percepatan yang dihasilkan yaitu lebih kecil daripada variasi rasio massa yang lainnya. Untuk memastikan nilai respon yang didapat, dilakukan perhitungan RMS dari respon percepatan getaran sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA pada masing-masing variasi kecepatan fluida seperti pada gambar 4.38.



Gambar 4.38 Grafik nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu x dengan penambahan DVA di *bend* dari pipa *elbow* 90° saat variasi kecepatan fluida 0.3 m/s , 0.5 m/s dan 0.7 m/s

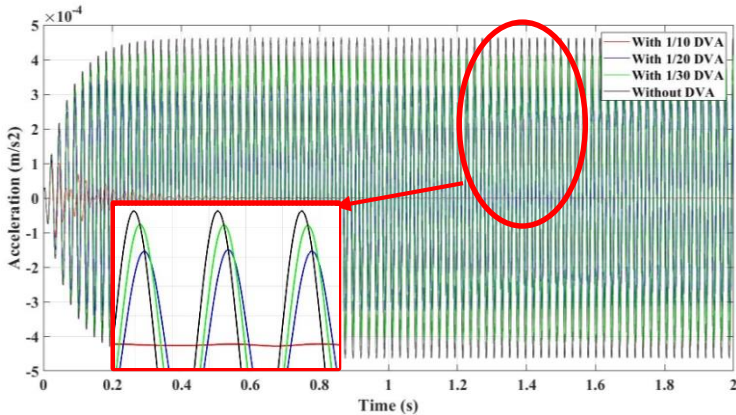
Pada gambar 4.38 menunjukkan nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA berada di *bend* dari pipa *elbow* 90° untuk setiap variasi kecepatan fluida. Nilai respon percepatan getaran pada saat kecepatan fluida 0.7 m/s sebelum penambahan DVA yaitu sebesar 10.291 m/s² dan nilai dari respon percepatan mengalami peredaman setelah penambahan DVA untuk rasio 1/10 sebesar 4.073 m/s² , 1/20 sebesar 5.334 m/s² dan 1/30 sebesar 8.787 m/s².

Berdasarkan nilai respon yang dihasilkan seperti pada gambar 4.36 dan 4.38 untuk setiap variasi kecepatan fluida memiliki bentuk *trendline* grafik yang sama. Terjadi penurunan nilai respon yang cukup signifikan saat penambahan DVA, dengan hasil respon percepatan getaran paling kecil saat penambahan DVA dengan rasio massa 1/10, dilanjutkan variasi penambahan DVA dengan rasio massa 1/20 dan 1/30. Sesuai dengan penjelasan di sub bab 4.3.1c, dimana pada bodedigram gambar 4.20 dapat

dilihat pada posisi DVA di *bend* dengan variasi rasio massa, didapatkan redaman getaran secara optimal pada sistem utama saat memiliki rasio massa 1/10 dilanjutkan variasi penambahan DVA dengan rasio massa 1/20 dan 1/30 secara berturut-turut. Karena hal ini, nilai respon percepatan getaran yang dihasilkan rasio massa 1/10 paling kecil dibandingkan dengan DVA dengan rasio massa yang lainnya. Untuk kecepatan fluida yang digunakan, nilai respon percepatan getaran sistem utama dengan penambahan DVA terbesar dihasilkan saat kecepatan fluida 0.7 m/s pada seluruh variasi rasio massa DVA. Sesuai dengan sub bab 4.4.1 sebelumnya, bahwa pada saat kecepatan fluida sebesar 0.7 m/s didapatkan respon getaran paling besar sehingga nilai dari respon percepatan getaran yang dihasilkan pun juga besar diantara variasi kecepatan fluida lainnya, meskipun sistem utama telah dilakukan penambahan DVA.

4.4.3.3 Posisi Peletakan DVA di *Output*

Posisi dari DVA diletakan pada *output* dari pipa *elbow* 90° seperti pada gambar 3.6 (c). Peletakan DVA pada *output* dari pipa *elbow* 90° bertujuan untuk meredam getaran ke arah sumbu x. Pada posisi peletakan DVA di *output* ini dilakukan dengan memvariasikan massa dari DVA yaitu 1/10, 1/20 dan 1/30 dari massa utama di semua variasi kecepatan fluida yaitu 0.3 m/s, 0.5 m/s dan 0.7 m/s. Proses simulasi dilakukan untuk mendapatkan respon getaran sistem utama dalam bentuk percepatan seperti pada gambar 4.39 dibawah ini.

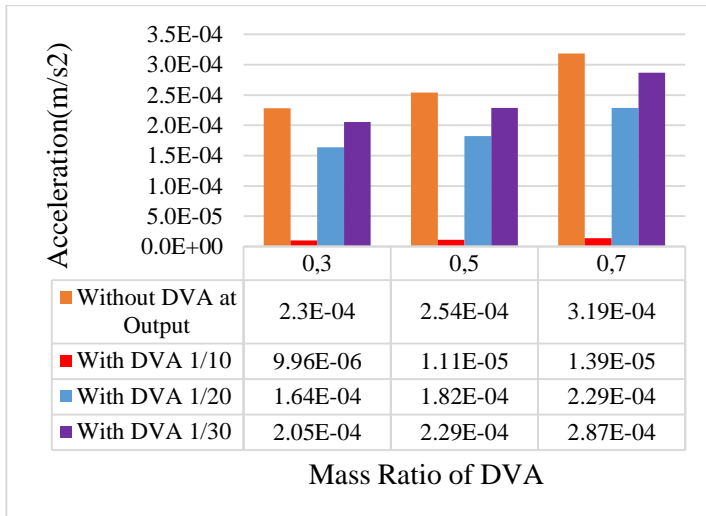


Gambar 4.39 Perbandingan grafik respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu x dengan penambahan DVA berada di *output* dari pipa *elbow* 90° saat variasi kecepatan fluida 0.7 m/s

Dari hasil simulasi didapatkan respon percepatan ketika DVA di tempatkan di *output* dari pipa *elbow* 90°. Gambar 4.39 merupakan perbandingan respon percepatan getaran sistem utama dengan penambahan DVA berada di *input* dari pipa *elbow* 90° untuk arah sumbu y pada masing-masing variasi kecepatan fluida. Berdasarkan grafik tersebut garis berwarna hitam menunjukkan sistem utama tanpa DVA, untuk garis berwarna merah menunjukkan sistem utama dengan penambahan DVA 1/10 dari massa utama, selanjutnya untuk garis berwarna biru menunjukkan sistem utama dengan penambahan DVA 1/20 dari massa utama dan garis berwarna hijau menunjukkan sistem utama dengan penambahan DVA 1/30 dari massa utama. Dari grafik tersebut terlihat bahwa respon percepatan getaran sistem utama setelah penambahan DVA dengan variasi massa DVA, lebih kecil dibanding sebelum penambahan DVA. Hal tersebut terjadi karena energi getaran yang dihasilkan oleh sistem utama akibat gaya dari fluida yang

mengenai pipa diserap oleh DVA yang dipasang pada sistem, sehingga percepatan getaran yang dihasilkan oleh sistem menjadi lebih kecil.

Selain itu, dari penggunaan variasi rasio massa DVA terhadap sistem utama didapatkan hasil respon percepatan getaran paling kecil saat penambahan DVA dengan rasio massa 1/10, dilanjutkan dengan rasio massa 1/20 dan 1/30 secara berturut-turut di semua variasi kecepatan fluida. Hal tersebut karena DVA mampu meredam getaran paling optimal pada saat memiliki rasio massa 1/10 dari massa sistem utamaa. Hal ini sesuai dengan sub bab 4.3.1c, dimana pada *bodediagram* gambar 4.14 menunjukkan pada saat rasio massa DVA 1/10,1/20 dan 1/30 dari massa utama dengan DVA diletakan di *bend* didapatkan hasil bahwa ketiga rasio massa dapat meredam getaran di sistem utama, tetapi untuk rasio massa DVA 1/10 mampu meredam getaran secara optimal dibandingkan dengan rasio massa DVA yang lain, sehingga respon percepatan yang dihasilkan yaitu lebih kecil daripada variasi rasio massa yang lainnya. Untuk memastikan nilai respon yang didapat, dilakukan perhitungan RMS dari respon percepatan getaran sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA pada masing-masing variasi kecepatan fluida seperti pada gambar 4.40.



Gambar 4.40 Grafik nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu y dengan penambahan DVA di *output* dari pipa *elbow* 90° saat variasi kecepatan fluida 0.3 m/s , 0.5 m/s dan 0.7 m/s

Pada gambar 4.40 menunjukkan nilai respon percepatan getaran translasi sistem utama arah sumbu x dengan penambahan DVA berada di *output* dari pipa *elbow* 90° untuk setiap variasi kecepatan fluida. Nilai respon percepatan getaran pada saat kecepatan fluida 0.7 m/s sebelum penambahan DVA yaitu sebesar $3.19 \times 10^{-4} \text{ m/s}^2$ dan nilai dari respon percepatan mengalami peredaman setelah penambahan DVA untuk rasio 1/10 yaitu sebesar $1.39 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$, 1/20 sebesar $2.29 \times 10^{-4} \text{ m/s}^2$ dan 1/30 sebesar $2.87 \times 10^{-4} \text{ m/s}^2$.

Berdasarkan nilai respon yang dihasilkan seperti pada gambar 4.40 untuk setiap variasi kecepatan fluida memiliki bentuk *trendline* grafik yang sama. Terjadi penurunan nilai respon yang cukup signifikan saat penambahan DVA, dengan hasil respon percepatan getaran paling kecil saat penambahan DVA dengan rasio massa 1/10, dilanjutkan variasi penambahan DVA dengan

rasio massa 1/20 dan 1/30. Sesuai dengan penjelasan di sub bab 4.3.1c, dimana pada bodedigram gambar 4.19 dapat dilihat pada posisi DVA di *output* dengan variasi rasio massa, didapatkan redaman getaran secara optimal pada sistem utama saat memiliki rasio massa 1/10 dilanjutkan variasi penambahan DVA dengan rasio massa 1/20 dan 1/30 secara berturut-turut. Karena hal ini, nilai respon percepatan getaran yang dihasilkan rasio massa 1/10 paling kecil dibandingkan dengan DVA dengan rasio massa yang lainnya. Untuk kecepatan fluida yang digunakan, nilai respon percepatan getaran sistem utama dengan penambahan DVA terbesar dihasilkan saat kecepatan fluida 0.7 m/s pada seluruh variasi rasio massa DVA. Sesuai dengan sub bab 4.4.1 sebelumnya, bahwa pada saat kecepatan fluida sebesar 0.7 m/s didapatkan respon getaran paling besar sehingga nilai dari respon percepatan getaran yang dihasilkan pun juga besar diantara variasi kecepatan fluida lainnya, meskipun sistem utama telah dilakukan penambahan DVA.

Berdasarkan analisa respon percepatan dengan variasi massa DVA yang telah dilakukan dari sub bab 4.4.3.1 hingga 4.4.3.3 Didapatkan kesimpulan bahwa respon percepatan getaran terbesar terjadi pada saat kecepatan fluida 0.7 m/s dengan penambahan DVA paling optimal ketika rasio massa DVA sebesar 1/10 dari massa utama disetiap variasi kecepatan fluida dan posisi peletakan DVA.

4.4.4 Analisa Respon Reduksi Getaran

Analisa respon reduksi getaran dilakukan dengan membandingkan hasil respon getaran antara sebelum dan sesudah penambahan DVA, baik untuk getaran arah sumbu y dan arah sumbu x. Selisih dari respon getaran antara sebelum dan sesudah penambahan DVA diubah dalam bentuk persentase, sehingga dapat diketahui besar redaman yang dihasilkan. Tabel 4.5 merupakan tabel respon reduksi percepatan variasi posisi peletakan DVA dengan kombinasi variasi rasio massa DVA arah sumbu y dan sumbu x dan Tabel 4.6 merupakan tabel respon reduksi

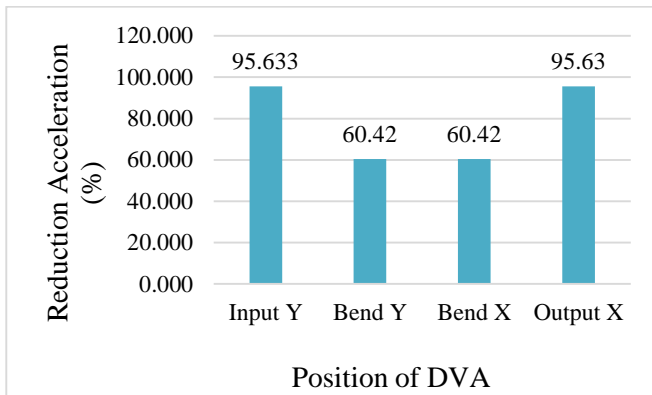
percepatan variasi rasio massa DVA dengan kombinasi variasi posisi peletakan DVA. Untuk mempermudah membandingkan respon reduksi getaran, tabel 4.5 dan tabel 4.6 ditampilkan dalam bentuk grafik seperti pada gambar 4.41 hingga 4.44 dibawah ini.

4.4.4.1 Reduksi Respon Percepatan Variasi Posisi Peletakan DVA

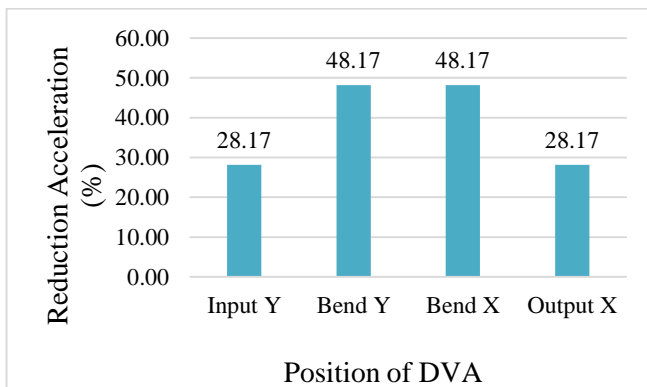
Reduksi respon percepatan untuk variasi posisi peletakan DVA dilakukan di tiga tempat yaitu posisi *input* dari pipa *elbow* 90°, *bend* dari pipa *elbow* 90°, dan *output* dari pipa *elbow* 90° di setiap variasi kecepatan fluida, yang bertujuan mengetahui pengaruh variasi posisi peletakan DVA yang paling optimal untuk meredam getaran. Adapun hasil nilai reduksi percepatan yang didapatkan seperti pada tabel 4.5 dibawah ini dan untuk mempermudah membandingkan dengan variasi posisi peletakan lainnya dapat dilihat dari grafik seperti pada gambar 4.41 hingga 4.43

Tabel 4.5 Respon reduksi percepatan variasi posisi peletakan DVA dengan kombinasi variasi rasio massa DVA

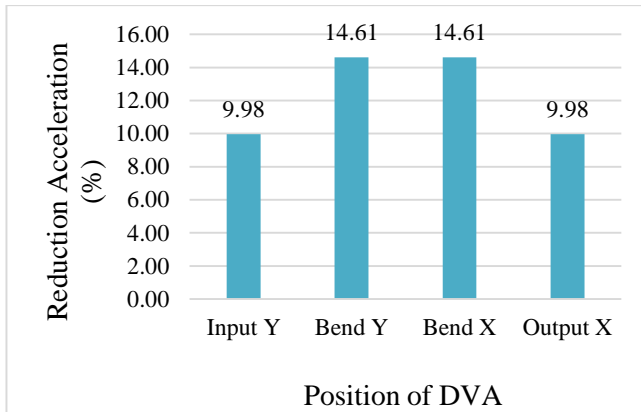
Arah Getaran	Variasi Kecepatan Fluida (m/s)	Tanpa Dva (m)	Variasi Peletakkan DVA	Rasio Massa DVA	Dengan DVA (m)	Reduksi Getaran (%)
Y	0,7	4.05E-04	<i>Input</i>	1/10	1.77E-05	95.63
				1/20	2.91E-04	28.17
				1/30	3.64E-04	9.98
		10.016	<i>Bend</i>	1/10	3.964	60.42
				1/20	5.191	48.17
				1/30	8.552	14.61
X		10.291	<i>Bend</i>	1/10	4.073	60.42
				1/20	5.334	48.17
				1/30	8.787	14.61
	3.19E-04	<i>Output</i>	1/10	1.39E-05	95.63	
			1/20	2.29E-04	28.17	
			1/30	2.87E-04	9.98	



Gambar 4.41 Grafik nilai respon reduksi percepatan getaran translasi sistem utama dengan variasi peletakan DVA 1/10 dari massa sistem utama saat kecepatan fluida 0.7 m/s



Gambar 4.42 Grafik nilai respon reduksi percepatan getaran translasi sistem utama dengan variasi peletakan DVA 1/20 dari massa sistem utama saat kecepatan fluida 0.7 m/s



Gambar 4.43 Grafik nilai respon reduksi percepatan getaran translasi sistem utama dengan variasi peletakan DVA 1/30 dari massa sistem utama saat kecepatan fluida 0.7 m/s

Berdasarkan gambar 4.41, untuk variasi posisi peletakan DVA di *input* dari pipa *elbow* 90°, *bend* dari pipa *elbow* 90°, dan *output* dari pipa *elbow* 90° untuk dengan rasio massa DVA sebesar 1/10. Didapatkan hasil reduksi percepatan maksimal pada saat DVA di letakan di posisi *input* dan *output* dari pipa *elbow* 90°. Pada kecepatan 0.7 m/s teredam secara optimal yaitu sebesar 95.63%. Hal tersebut juga berlaku untuk variasi kecepatan fluida yang lain dimana peredaman optimal juga terjadi ketika DVA ditempatkan di *input* dan *output* dari pipa *elbow* 90°. Seperti yang telah di analisa pada sub bab 4.3.1b, dimana pada *bodediagram* gambar 4.16 didapatkan nilai amplitude dari peletakan DVA di *input* dan *output* lebih rendah daripada posisi peletakan DVA di *bend*. sebelumnya, DVA dapat meredam getaran sistem utama paling optimal saat DVA diletakan di posisi di *input* dan *output* dari pipa *elbow* 90° dengan massa DVA 1/10 dari massa utama.

Selanjutnya pada gambar 4.42 dan 4.43, untuk variasi posisi peletakan DVA di *input* dari pipa *elbow* 90°, *bend* dari pipa *elbow* 90°, dan *output* dari pipa *elbow* 90° dengan rasio massa DVA sebesar 1/20 dan 1/30. Didapatkan hasil reduksi percepatan

optimal pada saat DVA di letakan di posisi *bend* dari pipa *elbow* 90° baik sumbu *y* dan *x* pada kecepatan 0.7 m/s mengalami peredaman secara optimal yaitu sebesar 48.17% pada saat DVA 1/20 dari massa sistem utama dan 14.61% pada saat rasio massa DVA 1/30 dari massa sistem utama. Seperti yang telah di analisa pada sub bab 4.4.2.2 sebelumnya, DVA dapat meredam getaran sistem utama paling optimal saat DVA diletakan di posisi *bend* dari pipa *elbow* 90° dengan rasio massa DVA 1/20 dan 1/30 dari massa sistem utama. Sesuai dengan penjelasan sub bab pada 4.3.1b, dimana pada *bodediagram* gambar 4.17 dan 4.18 terlihat bahwa pada posisi peletakan DVA di *bend* memiliki amplitude lebih rendah daripada posisi DVA ditempatkan di *input* dan *output*.

Berdasarkan nilai respon reduksi getaran yang dihasilkan gambar 4.41, dengan rasio massa DVA 1/10 memiliki bentuk *trendline* grafik reduksi lebih tinggi pada saat DVA ditempatkan di posisi *input* dan *output* dari pipa *elbow* dibandingkan dengan respon reduksi pada saat DVA ditempatkan di *bend* dari pipa *elbow* 90° . Sedangkan pada gambar 4.42 dan 4.43 dengan rasio massa DVA 1/20 dan 1/30 didapatkan bentuk *trendline* grafik reduksi lebih tinggi ketika DVA ditempatkan di posisi *bend* dibandingkan dengan respon reduksi pada saat DVA ditempatkan di *input* dan *output* pipa *elbow* 90° .

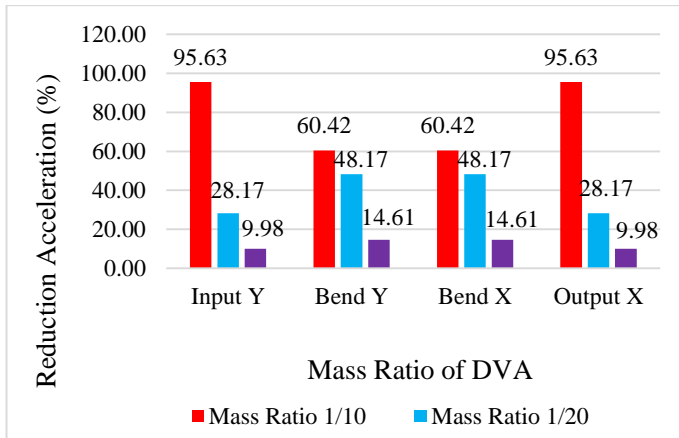
Berdasarkan analisa yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa respon reduksi percepatan getaran translasi pada saat rasio massa DVA 1/10 didapatkan redaman paling optimal ketika DVA ditempatkan di posisi *input* dan *output* dengan nilai dari reduksi yang dihasilkan yaitu sebesar 95.63% dan pada saat rasio massa DVA 1/20 dan 1/30 didapatkan redaman paling optimal ketika DVA ditempatkan di posisi *bend* dengan nilai reduksi yang dihasilkan baik sumbu *y* maupun sumbu *x* sebesar 48.17% untuk rasio massa DVA 1/20 dan 14.61% untuk rasio massa DVA 1/30.

4.4.4.2 Reduksi Respon Percepatan untuk Variasi Massa DVA

Reduksi respon percepatan untuk variasi massa DVA dilakukan dengan variasi 1/0, 1/20 dan 1/30 dari massa utama di tiga tempat yaitu posisi *input* dari pipa *elbow* 90°, *bend* dari pipa *elbow* 90°, dan *output* dari pipa *elbow* 90° di setiap variasi kecepatan fluida, yang bertujuan mengetahui pengaruh variasi massa DVA yang paling optimal untuk meredam getaran. Adapun hasil respon reduksi untuk percepatan arah sumbu x dan y dapat dilihat pada tabel 4.6. Untuk mempermudah membandingkan reduksi dari setiap variasi massa DVA dapat dilihat dari grafik seperti pada gambar 4.44 berikut ini.

Tabel 4.6 Respon reduksi percepatan variasi rasio massa DVA dengan kombinasi variasi posisi peletakan DVA

Arah Getaran	Variasi Kecepatan Fluida (m/s)	Tanpa Dva (m)	Variasi Peletakkan DVA	Rasio Massa DVA	Dengan DVA (m)	Reduksi Getaran (%)	
Y	0,7	4.05E-04	<i>Input</i>	1/10	1.77E-05	95.63	
				1/20	2.91E-04	28.17	
				1/30	3.64E-04	9.98	
		10.016	<i>Bend</i>	1/10	3.964	60.42	
				1/20	5.191	48.17	
				1/30	8.552	14.61	
X		0,7	10.291	<i>Bend</i>	1/10	4.073	60.42
					1/20	5.334	48.17
					1/30	8.787	14.61
	3.19E-04		<i>Output</i>	1/10	1.39E-05	95.63	
				1/20	2.29E-04	28.17	
				1/30	2.87E-04	9.98	



Gambar 4.44 Grafik nilai respon reduksi percepatan getaran translasi sistem utama dengan variasi massa DVA saat kecepatan fluida 0.7 m/s

Berdasarkan gambar 4.44, untuk variasi rasio massa DVA di setiap posisi peletakan DVA di *input* dari pipa *elbow* 90°, *bend* dari pipa *elbow* 90°, dan *output* dari pipa *elbow* 90°. Didapatkan hasil reduksi percepatan maksimal pada saat rasio massa DVA sebesar 1/10 dari massa utama di semua posisi peletakan DVA, diikuti dengan rasio massa 1/20 dan 1/30. Seperti yang sudah di analisa pada sub bab 4.4.3 sebelumnya, hasil respon percepatan getaran paling kecil didapatkan pada saat penambahan DVA dengan rasio massa 1/10, dilanjutkan dengan rasio massa 1/20 dan 1/30 secara berturut-turut. Hal tersebut sesuai dengan sub bab 4.3.1c, dimana pada *bodediagram* gambar 4.19 dan 4.20 menunjukkan pada saat rasio massa DVA 1/10, 1/20 dan 1/30 dari massa utama, didapatkan hasil bahwa ketiga rasio massa dapat meredam getaran di sistem utama, tetapi untuk rasio massa DVA 1/10 mampu meredam getaran secara optimal dibandingkan dengan rasio massa DVA yang lain. Hal ini dapat dilihat dari amplitude yang dihasilkan DVA 1/10 lebih kecil dibandingkan pada saat rasio massa DVA 1/20 dan 1/30 terhadap massa sistem

utama. Respon percepatan rasio massa DVA 1/10 yang dihasilkan lebih kecil daripada variasi rasio massa yang lainya sehingga reduksi yang dihasilkan DVA 1/10 lebih besar dan lebih mampu meredam getaran secara optimal dibandingkan dengan 1/20 dan 1/30.

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, gambar 4.44 merupakan reduksi respon percepatan sistem utama dengan variasi massa DVA 1/10, 1/20, dan 1/30 di setiap posisi peletakan DVA. Dari hasil simulasi tersebut didapatkan reduksi percepatan peredaman maksimal ketika rasio massa DVA sebesar 1/10 di semua posisi peletakan DVA. kemudian diikuti oleh massa 1/20 dan 1/30. Pada kecepatan 0.7 m/s dengan rasio massa 1/10 di semua posisi peletakan DVA, didapatkan nilai reduksi respon percepatan getaran ketika DVA berada di posisi *input* terhadap sumbu y sebesar 95.63%, untuk DVA berada di posisi *bend* didapatkan nilai reduksi respon sebesar 60.42% baik sumbu y maupun sumbu x dan pada saat DVA berada di posisi *output* terhadap sumbu x didapatkan nilai reduksi respon sebesar 95.63%.

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa respon reduksi percepatan getaran translasi saat variasi rasio massa DVA didapatkan bahwa rasio massa DVA 1/10 dapat meredam getaran paling optimal di semua kecepatan fluida dan posisi peletakan DVA.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.4 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut

1. Telah dimodelkan rancangan sebuah sistem *Dynamic vibration absorber* (DVA) tipe *beam* yang terdiri dari sebuah pegas bermaterial *Polyactic acid* (PLA) dengan nilai konstanta kekakuan pegas sebesar 612.249 N/m, dengan DVA memiliki dimensi 0.01661 x 0.02 x 0.002 m yang mampu mereduksi getaran di sistem utama, dengan sistem utama berupa sistem perpipaan dengan berat 0.16 kg dan diameter pipa sebesar 0,0325 m.
2. Didapatkan hasil respon getaran terbesar untuk arah x dan y pada saat nilai Re sebesar 28437 yaitu pada saat kecepatan fluida 0.7 m/s.
3. Didapatkan posisi peletakan DVA yang mampu mereduksi getaran transversal baik arah sumbu y maupun sumbu x paling optimal berdasarkan penelitian ini yaitu relatif terhadap massa DVA, dimana pada saat rasio massa DVA 1/10 peletakan DVA di posisi *input* dan *output* dapat meredam getaran secara optimal dan saat rasio massa DVA 1/20 dan 1/30 peletakan DVA di posisi *bend* dapat meredam getaran secara optimal.
4. Didapatkan hasil bahwa rasio massa DVA yang mampu mereduksi getaran transversal baik arah sumbu y maupun sumbu x paling optimal berdasarkan penelitian ini adalah dengan rasio massa DVA 1/10 dari sistem massa utama.
5. Didapatkan nilai reduksi respon percepatan pada saat variasi posisi peletakan DVA paling optimal yaitu relatif terhadap massa DVA, dimana pada saat posisi DVA di *input* dan *output* didapatkan reduksi sebesar 95.63% dengan rasio massa DVA 1/10, kemudian pada saat posisi peletakan DVA di *bend* didapatkan nilai reduksi baik arah sumbu y maupun arah sumbu x sebesar 48.17% untuk rasio massa DVA 1/20

dan 14.61% untuk rasio massa DVA 1/30. Untuk nilai respon reduksi percepatan ketika variasi massa DVA didapatkan peredaman paling optimal ketika massa DVA 1/10 dari massa utama sistem. Dengan nilai reduksi yang didapatkan sebesar 95.63% saat rasio massa DVA 1/10 di *input* dan *output* serta 60.42% saat rasio massa DVA 1/10 di *bend* baik arah sumbu y maupun arah sumbu x.

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian yang telah dilakukan sebagai berikut :

1. Berdasarkan penelitian berbasis simulasi yang telah dilakukan, disarankan untuk melakukan perhitungan parameter dengan lebih detail supaya hasil yang didapat lebih mendekati actual.
2. Berdasarkan penelitian berbasis simulasi *ansys fluent* yang telah dilakukan untuk emndapatkan gaya eskitasi, disarankan untuk melakukan pengambilan gaya eksitasi secara *cross section* agar gaya yang didapatkan memiliki nilai yang lebih akurat
3. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, semakin besar rasio massa absorber terhadap sistem utama, maka reduksi yang dihasilkan semakin besar. Alangkah lebih baiknya bila rasio massa absorber terhadap sistem utama dilakukan penelitian lebih mendalam dengan nilai yang lebih besar dari penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chang Liu, Jie Ni, Jie Wen & Xueyuan Peng. 2018. "Design and Validation of Adjustable *Dynamic vibration absorber* for Piping Vibration Suppression in Skid Mounted Compressor Unit". **International Compressor Engineering Conference**, pp. 11-1
- [2] Dai Qing-shan, Zhang Zhen-hai & Zhu Shi-jian. 2017. "Finite Element Analysis and Experimental Study on *Elbow*". **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, pp. 1-7.
- [3] Keshtkar H & Jafari A A. 2017. "Vibration Analysis of a Turbulent Fluid Passing Inside an *Elbow* Shaped Pipe Section". **Journal of Applied Mechanical Engineering**, Volume 1, pp. 19-21.
- [4] Pachpute A Z & P, B. Bawa. 2016. "Optimum of Design of a Damped *Dynamic vibration absorber* a Simulation Approach". **International Journal of Engineering Research and Development**, Volume 1, pp. 19-21
- [5] Pritchard J P, 2011. **Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics**. New Jersey: John Wiley & Sons
- [6] Rao Singeresu S, 2011. **Mechanical Vibration Fifth Edition**. Upper Saddle River: Pearson Education Inc.
- [7] Tim Wavin Bv, 2010. **Panduan Teknik & Katalog Produk Wavin Aplikasi Pipa Air Bersih dan Buangan**. Jakarta: PT.Wavin Duta Jaya.
- [8] Veerapandi R,G.Karthikeyan, Dr.G.Jinu, R.Kannaiah 2014. "Experimental Study and Analysis of Flow Induced Vibration in a pipeline". **International Journal of Engineering Research & Technology**, Volume 3, pp.1-5

- [9] Vincent. 2017. Pemodelan dan analisa reduksi respon getaran translasi dan rotasi pada sistem utama oleh mekanisme *dynamic vibration absorber* model *beam* dengan pengaruh posisi peletakan terhadap pusat massa sistem utama (tugas akhir). Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

LAMPIRAN

LAMPIRAN

Tabel 1. Nilai respon percepatan dan reduksi percepatan getaran dengan variasi massa DVA arah sumbu y

Arah Getaran	Variasi Kecepatan Fluida (m/s)	Tanpa Dva (m)	Variasi Peletakkan DVA	Rasio Massa DVA	Dengan DVA (m)	Reduksi Getaran (%)
y	0,3 m/s	3.14E-04	<i>Input</i>	0,1	1.37E-05	95.63
		3.14E-04		0,05	2.26E-04	28.17
		3.14E-04		0,003	2.83E-04	9.98
	0,5 m/s	3.44E-04		0,1	1.50E-05	95.63
		3.44E-04		0,05	2.47E-04	28.17
		3.44E-04		0,003	3.10E-04	9.98
	0,7 m/s	4.05E-04		0,1	1.77E-05	95.63
		4.05E-04		0,05	2.91E-04	28.17
		4.05E-04		0,003	3.64E-04	9.98
	0,3 m/s	9.977	<i>Bend</i>	0,1	3.949	60.42
		9.977		0,05	5.171	48.17
		9.977		0,003	8.519	14.61
	0,5 m/s	9.982		0,1	3.951	60.42
		9.982		0,05	5.174	48.17
		9.982		0,003	8.524	14.61
	0,7	10.016		0,1	3.964	60.42
		10.016		0,05	5.191	48.17
		10.016		0,003	8.552	14.61

Tabel 2. Nilai respon percepatan dan reduksi percepatan getaran dengan variasi massa DVA arah sumbu x

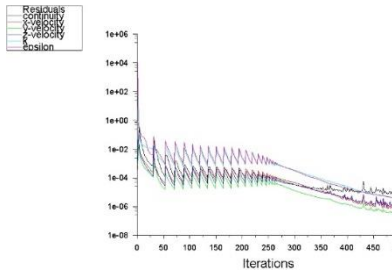
Arah Getaran	Variasi Kecepatan Fluida (m/s)	Tanpa Dva (m)	Variasi Peletakkan DVA	Rasio Massa DVA	Dengan DVA (m)	Reduksi Getaran (%)
x	0,3 m/s	10.251	<i>Bend</i>	0,1	4.057	60.42
		10.251		0,05	5.313	48.17
		10.251		0,003	8.753	14.61
	0,5 m/s	10.267		0,1	4.064	60.42
		10.267		0,05	5.322	48.17
		10.267		0,003	8.767	14.61
	0,7 m/s	10.291		0,1	4.073	60.42
		10.291		0,05	5.334	48.17
		10.291		0,003	8.787	14.61
	0,3 m/s	2.28E-04	<i>Output</i>	0,1	9.96E-06	95.63
		2.28E-04		0,05	1.64E-04	28.17
		2.28E-04		0,003	2.05E-04	9.98
	0,5 m/s	2.54E-04		0,1	1.11E-05	95.63
		2.54E-04		0,05	1.82E-04	28.17
		2.54E-04		0,003	2.29E-04	9.98
	0,7	3.19E-04		0,1	1.39E-05	95.63
		3.19E-04		0,05	2.29E-04	28.17
		3.19E-04		0,003	2.87E-04	9.98

Tabel 3. Nilai respon perpindahan dan reduksi perpindahan getaran dengan variasi massa DVA arah sumbu y

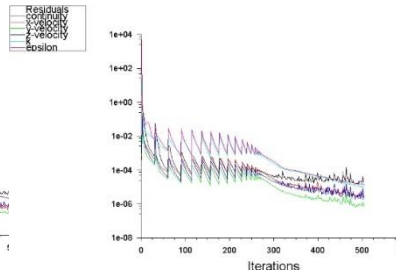
Arah Getaran	Variasi Kecepatan Fluida (m/s)	Tanpa Dva (m)	Variasi Peletakkan DVA	Rasio Massa DVA	Dengan DVA (m)	Reduksi Getaran (%)		
y	0,3	4.11E-09	<i>Input</i>	0,1	1.88E-10	95.42		
				0,05	2.96E-09	28.03		
				0,003	3.70E-09	9.89		
	0,5 m	4.501E-09		0,1	2.06E-10	95.42		
				0,05	3.24E-09	28.03		
				0,003	4.06E-09	9.89		
	0,7	5.288E-09		0,1	2.42E-10	95.42		
				0,05	3.81E-09	28.03		
				0,003	4.77E-09	9.89		
	0,3	1.30E-04	<i>Bend</i>	0,1	5.14E-05	60.57		
				0,05	6.78E-05	48.00		
				0,003	1.11E-04	14.51		
				0,5 m	1.30E-04	0,1	5.14E-05	60.57
						0,05	6.78E-05	47.99
						0,003	1.12E-04	14.51
				0,7	1.31E-04	0,1	5.16E-05	60.57
						0,05	6.81E-05	47.99
						0,003	1.12E-04	14.50

Tabel 4. Nilai respon perpindahan dan reduksi perpindahan getaran dengan variasi massa DVA arah sumbu x

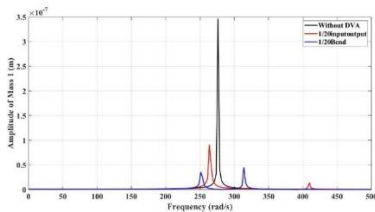
Arah Getaran	Variasi Kecepatan Fluida (m/s)	Tanpa Dva (m)	Variasi Peletakkan DVA	Rasio Massa DVA	Dengan DVA (m)	Reduksi Getaran (%)		
x	0,3	1.340E-04	<i>Bend</i>	0,1	5.28E-05	60.57		
				0,05	6.97E-05	47.99		
				0,003	1.15E-04	14.36		
	0,5	1.342E-04		0,1	5.29E-05	60.57		
				0,05	6.98E-05	47.99		
				0,003	3.12E-04	-132.52		
	0,7	1.345E-04		0,1	5.30E-05	60.57		
				0,05	6.99E-05	48.00		
				0,003	1.15E-04	14.51		
	0,3	2.982E-09	<i>Output</i>	0,1	1.37E-10	95.42		
				0,05	2.15E-09	28.03		
				0,003	2.69E-09	9.89		
				0,5	3.319E-09	0,1	1.52E-10	95.42
						0,05	2.39E-09	28.03
						0,003	2.99E-09	9.89
				0,7	4.163E-09	0,1	1.91E-10	95.42
						0,05	3.00E-09	28.03
						0,003	3.75E-09	9.89



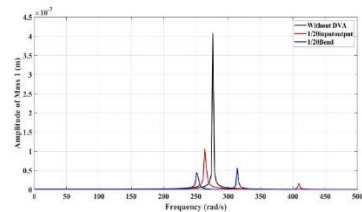
Gambar 1. Grafik residual pipa *elbow* kecepatan 0.5 m/s



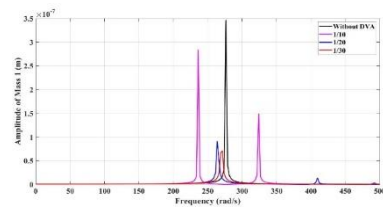
Gambar 2. Grafik residual pipa *elbow* kecepatan 0.7 m/s



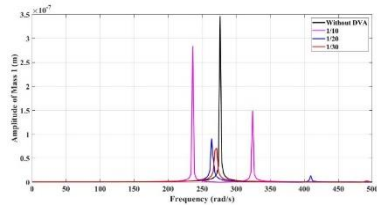
Gambar 3. *Bodediagram* variasi peletakan DVA 1/20 saat kecepatan 0.5 m/s



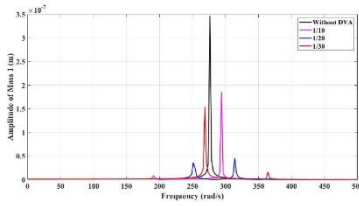
Gambar 4. *Bodediagram* variasi peletakan DVA 1/20 saat kecepatan 0.7 m/s



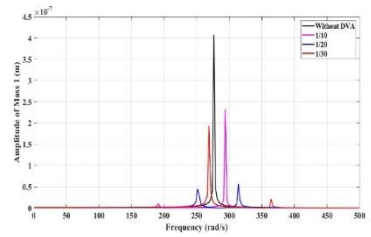
Gambar 5. *Bodediagram* variasi massa DVA pada saat posisi *input* dan *output* kecepatan 0.5 m/s



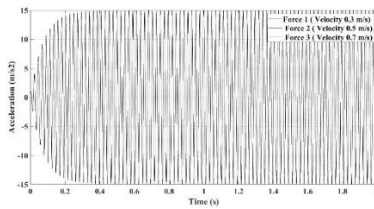
Gambar 6. *Bodediagram* variasi massa DVA pada saat posisi *input* dan *output* kecepatan 0.7 m/s



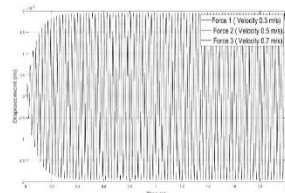
Gambar 7. Bodediagram variasi massa DVA pada saat posisi *bend* kecepatan 0.5 m/s



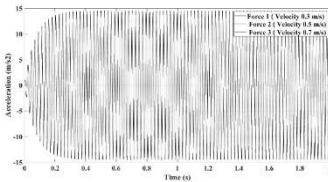
Gambar 8. Bodediagram variasi massa DVA pada saat posisi *bend* kecepatan 0.7 m/s



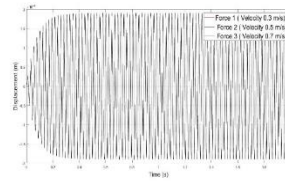
Gambar 9. Grafik respon percepatan tanpa DVA di *bend* sumbu X



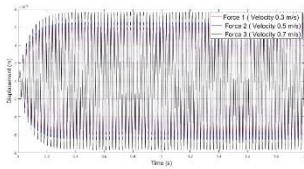
Gambar 10. Grafik respon perpindahan tanpa DVA di *bend* sumbu X



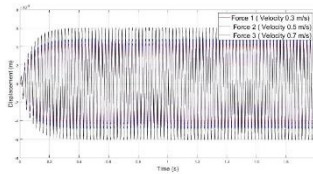
Gambar 11. Grafik respon percepatan tanpa DVA di *bend* sumbu Y



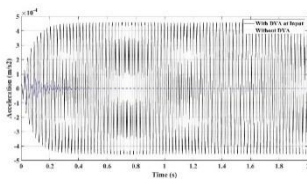
Gambar 12. Grafik respon perpindahan tanpa DVA di *bend* Y



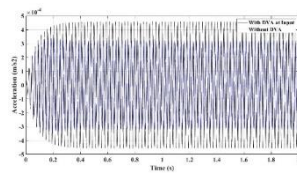
Gambar 13. Grafik respon perpindahan tanpa DVA di *input Y*



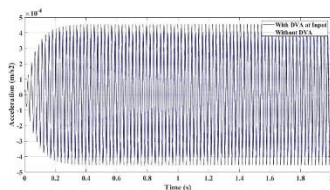
Gambar 14. Grafik respon perpindahan tanpa DVA di *output Y*



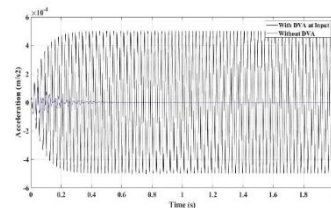
Gambar 15. Grafik respon percepatan variasi peletakan DVA 1/10 di *input* kecepatan 0.3 m/s



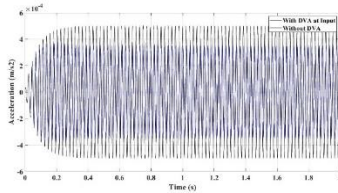
Gambar 16. Grafik respon percepatan variasi peletakan DVA 1/20 di *input* kecepatan 0.3 m/s



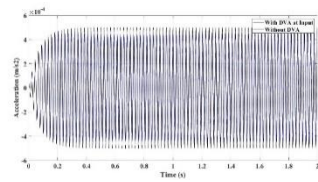
Gambar 17. Grafik respon percepatan variasi peletakan DVA 1/10 di *input* kecepatan 0.3 m/s



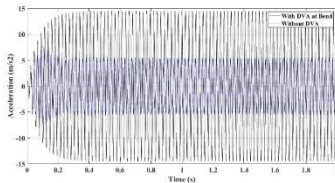
Gambar 18. Grafik respon percepatan variasi peletakan DVA 1/10 di *input* kecepatan 0.5 m/s



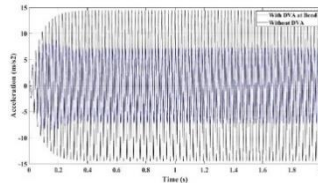
Gambar 19. Grafik respon percepatan variasi peletakan DVA 1/20 di *input* kecepatan 0.5 m/s



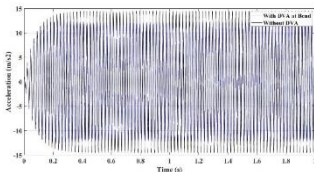
Gambar 20. Grafik respon percepatan variasi peletakan DVA 1/30 di *input* kecepatan 0.5 m/s



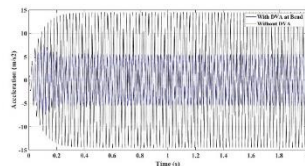
Gambar 21. Grafik respon percepatan variasi peletakan DVA 1/10 di *bend* sumbu y kecepatan 0.3 m/s



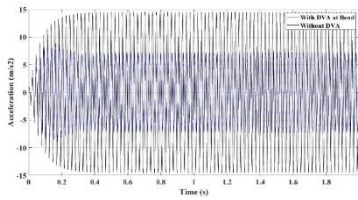
Gambar 22. Grafik respon percepatan variasi peletakan DVA 1/20 di *bend* sumbu y kecepatan 0.3 m/s



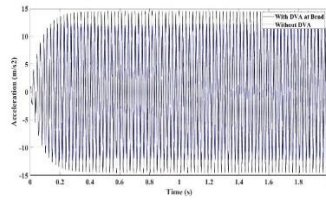
Gambar 23. Grafik respon percepatan variasi peletakan DVA 1/30 di *bend* sumbu y kecepatan 0.3 m/s



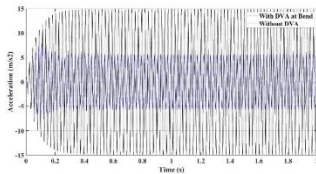
Gambar 24. Grafik respon percepatan variasi peletakan DVA 1/10 di *bend* sumbu y kecepatan 0.5 m/s



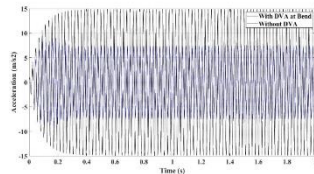
Gambar 25. Grafik respon percepatan variasi peletakan DVA 1/20 di *bend* sumbu y kecepatan 0.5 m/s



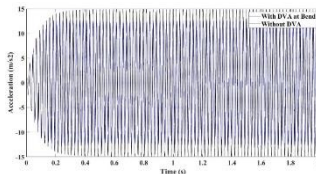
Gambar 26. Grafik respon percepatan variasi peletakan DVA 1/30 di *bend* sumbu y kecepatan 0.5 m/s



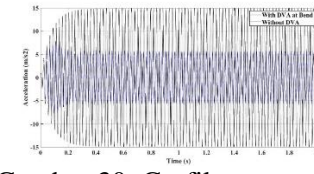
Gambar 27. Grafik respon percepatan variasi peletakan DVA 1/10 di *bend* sumbu x kecepatan 0.3 m/s



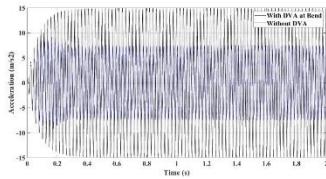
Gambar 28. Grafik respon percepatan variasi peletakan DVA 1/20 di *bend* sumbu x kecepatan 0.3 m/s



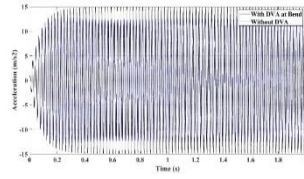
Gambar 29. Grafik respon percepatan variasi peletakan DVA 1/30 di *bend* sumbu x kecepatan 0.3 m/s



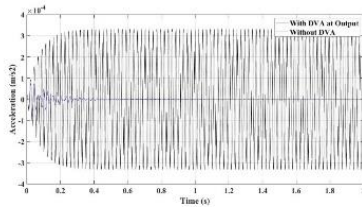
Gambar 30. Grafik respon percepatan variasi peletakan DVA 1/10 di *bend* sumbu x kecepatan 0.5 m/s



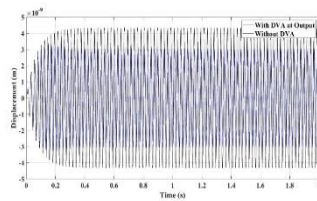
Gambar 31. Grafik respon percepatan variasi peletakan DVA 1/20 di *bend* sumbu x kecepatan 0.5 m/s



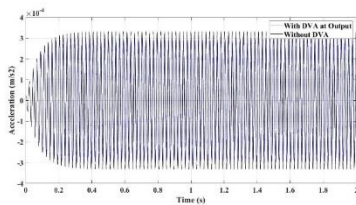
Gambar 32. Grafik respon percepatan variasi peletakan DVA 1/30 di *bend* sumbu x kecepatan 0.5 m/s



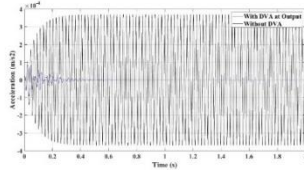
Gambar 33. Grafik respon percepatan variasi peletakan DVA 1/10 di *output* kecepatan 0.3 m/s



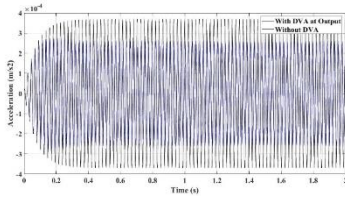
Gambar 34. Grafik respon percepatan variasi peletakan DVA 1/20 di *output* kecepatan 0.3 m/s



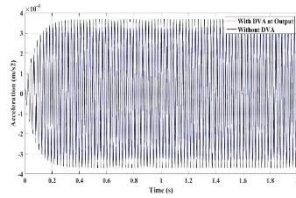
Gambar 35. Grafik respon percepatan variasi peletakan DVA 1/30 di *output* kecepatan 0.3 m/s



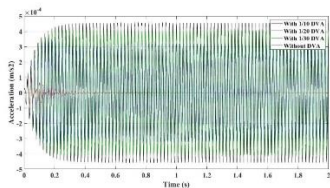
Gambar 36. Grafik respon percepatan variasi peletakan DVA 1/10 di *output* kecepatan 0.5 m/s



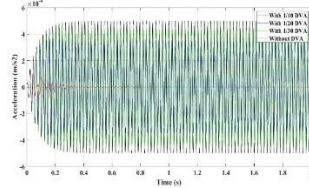
Gambar 37. Grafik respon percepatan variasi peletakan DVA 1/20 di *output* kecepatan 0.5 m/s



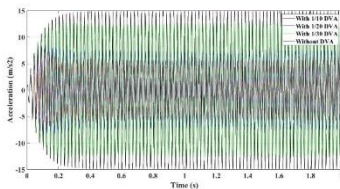
Gambar 38. Grafik respon percepatan variasi peletakan DVA 1/30 di *output* kecepatan 0.5 m/s



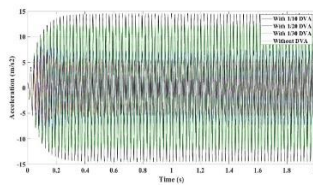
Gambar 39. Grafik respon percepatan variasi rasio massa DVA di *input* kecepatan 0.3 m/s



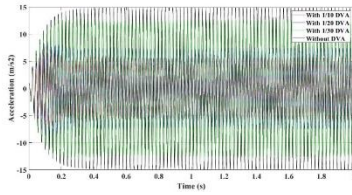
Gambar 40. Grafik respon percepatan variasi rasio massa DVA di *input* kecepatan 0.5 m/s



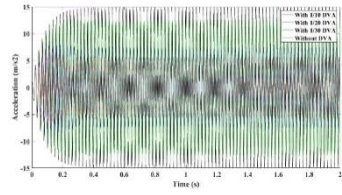
Gambar 41. Grafik respon percepatan variasi rasio massa DVA di *bend* sumbu y kecepatan 0.3 m/s



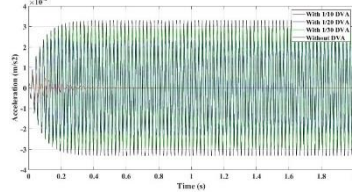
Gambar 42. Grafik respon percepatan variasi rasio massa DVA di *bend* sumbu y kecepatan 0.5 m/s



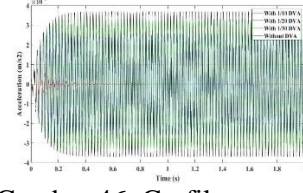
Gambar 43. Grafik respon percepatan variasi rasio massa DVA di *bend* sumbu x kecepatan 0.3 m/s



Gambar 44. Grafik respon percepatan variasi rasio massa DVA di *bend* sumbu x kecepatan 0.5 m/s



Gambar 45. Grafik respon percepatan variasi rasio massa DVA di *output* kecepatan 0.3 m/s



Gambar 46. Grafik respon percepatan variasi rasio massa DVA di *output* kecepatan 0.5 m/s

BIODATA PENULIS

BIODATA PENULIS



Lucia Darmasari Musriningtias

dilahirkan di Sidoarjo, 07 April 1997. Menyelesaikan kuliah dalam program studi S-1 Departemen Teknik Mesin, FTI, ITS pada tahun 2020. Penulis menempuh pendidikan Tingkat Dasar sampai Sekolah Menengah Atas di Sidoarjo, Jawa Timur. Terlahir dari pasangan Agus Darmawan dan Luluk Mahfulah. Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun non akademik di lingkungan kampus Teknik Mesin. Penulis pernah menjadi anggota dan pengurus organisasi *Mesin Music Club*, dalam satu setengah periode kepengurusan, yaitu 2016-2017, dan 2018 sebagai staf divisi eksternal dan bendahara umum secara berturut-turut. Dalam kegiatan akademik, penulis aktif menjadi asisten Praktikum Mekanika Getaran. Penulis bercita-cita menjadi seorang wanita karir yang sukses, baik dalam pekerjaan maupun keluarga. Untuk menghubungi penulis dalam rangka pemenuhan kritik dan saran dari pembaca, dapat dilakukan melalui email luciadarmasari07@gmail.com. Penulis sangat terbuka dalam segala hal terkait penelitian ini, maupun hal lainnya.