

TUGAS AKHIR - TM184835

ANALISIS REDUKSI RESPON GETARAN PADA *BORING BAR* DAN PEMASANGAN *SPHERE RUBBER DVA* DENGAN VARIASI DIMENSI *BORING BAR* MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT*

Rianti Ayu Pratiwi
NRP 0211184000045

Dosen Pembimbing
Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.
NIP 197004121997032003

Program Studi S-1 Teknik Mesin
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022



TUGAS AKHIR - TM184835

ANALISIS REDUKSI RESPON GETARAN PADA *BORING BAR* DAN PEMASANGAN *SPHERE RUBBER DVA* DENGAN VARIASI DIMENSI *BORING BAR* MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT*

Rianti Ayu Pratiwi
NRP 0211184000045

Dosen Pembimbing
Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.
NIP 197004121997032003

Program Studi S-1 Teknik Mesin
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022



FINAL PROJECT - TM184835

**ANALYSIS OF THE VIBRATION RESPONSE REDUCTION
IN BORING BAR AND INSTALLATION OF SPHERE
RUBBER DVA WITH VARIATIONS IN BORING BAR
DIMENSIONS USING FINITE ELEMENTS**

Rianti Ayu Pratiwi
NRP 0211184000045

Advisor
Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.
NIP 197004121997032003

Undergraduate Study Program of Mechanical Engineering
Departement of Mechanical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2022

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS REDUKSI RESPON GETARAN PADA *BORING BAR* DAN PEMASANGAN *SPHERE RUBBER DVA* DENGAN VARIASI DIMENSI *BORING BAR* MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT*

TUGAS AKHIR

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

Oleh: **RIANTI AYU PRATIWI**
NRP. 0211184000045

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.

Pembimbing



2. Prof. Dr. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng.

Penguji



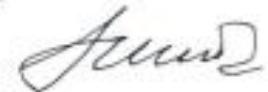
3. Aida Annisa Amin Daman, S.T., M.T.

Penguji



4. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D.

Penguji



SURABAYA
Juli, 2022

APPROVAL SHEET

ANALYSIS OF THE VIBRATION RESPONSE REDUCTION IN BORING BAR AND INSTALLATION OF SPHERE RUBBER DVA WITH VARIATIONS IN BORING BAR DIMENSIONS USING FINITE ELEMENTS

FINAL PROJECT

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

By: **RIANTI AYU PRATIWI**
NRP. 0211184000045

Approved by Final Project Examiner Team:

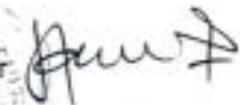
1. Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.

Advisor



2. Prof. Dr. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng.

Examiner



3. Aida Annisa Amin Daman, S.T., M.T.

Examiner



4. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D.

Examiner



SURABAYA
July, 2022

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Rianti Ayu Pratiwi / 0211184000045

Departemen : Teknik Mesin FT-IRS ITS

Dosen Pembimbing / NIP : Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T. / 197004121997032003

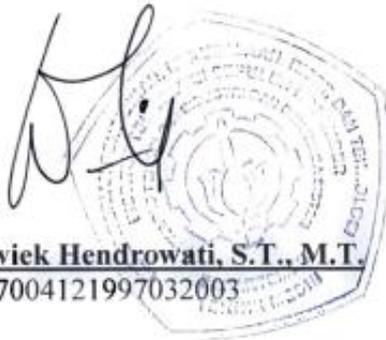
dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Analisis Reduksi Respon Getaran pada *Boring Bar* dan Pemasangan *Sphere Rubber DVA* dengan Variasi Dimensi *Boring Bar* Menggunakan *Finite Element*” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

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

Surabaya, 22 Juli 2022

Mengetahui

Dosen Pembimbing,



Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.
NIP. 197004121997032003

Mahasiswa,



Rianti Ayu Pratiwi
NRP. 0211184000045

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Rianti Ayu Pratiwi / 0211184000045
Departement : Mechanical Engineering FT-IRS ITS
Advisor / NIP : Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T. / 197004121997032003

hereby declare that the Final Project with the title of "Analysis of The Vibration Response Reduction in Boring Bar and Installation of Sphere Rubber DVA with Variations in Boring Bar Dimensions Using Finite Elements" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 22nd July 2022

Acknowledged

Advisor,



Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.
NIP. 197004121997032003

Student,



Rianti Ayu Pratiwi
NRP. 0211184000045

**ANALISIS REDUKSI RESPON GETARAN PADA *BORING BAR* DAN
PEMASANGAN *SPHERE RUBBER DVA* DENGAN VARIASI DIMENSI *BORING
BAR* MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT***

Nama Mahasiswa : Rianti Ayu Pratiwi
NRP : 0211184000045
Departemen : Teknik Mesin FT-IRS ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.

ABSTRAK

Dalam melakukan proses *boring*, salah satu faktor yang perlu diperhatikan dalam proses tersebut yaitu timbulnya getaran yang berlebih dari *boring bar* agar mendapatkan hasil sesuai yang diinginkan. Salah satu cara untuk melakukan hal tersebut yaitu dengan pemasangan *Dynamic Vibration Absorber* (DVA) sebagai peredam getaran berlebih yang terjadi di mesin bubut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi dimensi *boring bar* pada mesin bubut serta mengetahui desain yang optimal untuk diredam oleh *sphere rubber DVA*.

Pada penelitian ini, dilakukan analisis penerapan reduksi getaran pada mesin bubut dengan penambahan *sphere rubber DVA* yang dipasang pada *head boring bar*. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* ANSYS. Penelitian ini menggunakan DVA berbentuk bola yang mana terdapat sebuah massa bola berdiameter 15 mm yang diselimuti oleh karet setebal 2,5 mm sebagai pegas daripada DVA. Untuk sistem DVA yang dipasang pada *boring bar* sendiri berbentuk bola karet dimana diberikan nilai massa dan kekakuan yang sama pada masing-masing variasi dimensi untuk mengetahui hasil redaman yang paling optimal. Bola massa dan karet tersebut kemudian dibungkus oleh sebuah *housing* berbentuk silinder yang terletak tepat di belakang *head*. Lalu *head* disambungkan pada *body* dan dikunci dengan sebuah pin. Benda kerja yang digunakan adalah AISI 1045. Besaran panjang dari *boring bar* divariasikan, adapun variasi panjang *boring bar* terdiri dari 192, 208, 224, 240, 256, 272, 288, 304, 320, 336, 352, 368, dan 384 dalam satuan milimeter dengan diameter 32 mm, sehingga menciptakan variasi L/D *boring bar* dari rentang 6-12 dengan interval 0,5. Kecepatan putaran *spindle* juga turut divariasikan, terdiri dari 36, 55, 75, 105, 130, 185, 250, 370, 630, 920, 1250, dan 2000 dalam satuan rpm.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa DVA umumnya berpengaruh dalam mereduksi respon getaran sistem utama, namun juga dapat meningkatkan respon getaran apabila dipasangkan pada variasi sistem utama yang tidak tepat. Selain itu juga, dengan penggunaan DVA pada seluruh variasi L/D *boring bar*, didapatkan hasil bahwa desain yang paling optimum untuk meredam *chatter* pada proses permesinan tipe *finishing* pada *feedrate* 0,1 mm/rev serta *depth of cut* 0,5 mm adalah L/D 6,5 dengan penambahan karet *natural* maupun karet *neophrene* pada kecepatan putaran *spindle* 130 rpm karena didapatkan hasil bahwa DVA bekerja paling optimal dalam mereduksi respon getaran sebesar lebih dari 95% ke segala arah (radial, tangensial, dan axial) sehingga mampu meredam getaran semaksimal mungkin pada frekuensi naturalnya.

Kata Kunci: *Boring Bar*, *Sphere Rubber DVA*, *Overhang Length (L/D_o)*, Respon Getaran

ANALYSIS OF THE VIBRATION RESPONSE REDUCTION IN BORING BAR AND INSTALLATION OF SPHERE RUBBER DVA WITH VARIATIONS IN BORING BAR DIMENSIONS USING FINITE ELEMENTS

Student Name : Rianti Ayu Pratiwi
NRP : 0211184000045
Department : Mechanical Engineering FT-IRS ITS
Advisor : Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.

ABSTRACT

In carrying out the boring process, one of the factors that need to be considered in the process is the emergence of excessive vibrations from the boring bar in order to get the desired results. One way to do this is by installing a Dynamic Vibration Absorber (DVA) as a damper for excess vibrations that occur in the lathe machine. The purpose of this study was to determine the effect of variations in the dimensions of the boring bar on the lathe machine and to determine the optimal design for damping by sphere rubber DVA.

In this study, an analysis of the application of vibration reduction on a lathe machine was carried out with the addition of a sphere rubber DVA mounted on the head boring bar. The simulation was carried out using ANSYS software. This study uses a spherical DVA in which there is a ball mass of 15 mm in diameter which is covered by 2.5 mm thick rubber as a spring rather than DVA. For the DVA system installed on the boring bar itself in the form of a rubber ball where the same mass and stiffness values are given for each dimensional variation to determine the most optimal damping results. The ball of mass and rubber is then wrapped by a cylindrical housing which is located directly behind the head. Then the head is connected to the body and locked with a pin. The workpiece used is AISI 1045. The length of the boring bar is varied, while the variation of the length of the boring bar consists of 192, 208, 224, 240, 256, 272, 288, 304, 320, 336, 352, 368, and 384 in units millimeters with a diameter of 32 mm, thus creating a variety of L/D boring bars from the 6-12 range with 0.5 intervals. Spindle rotation speed is also varied, consisting of 36, 55, 75, 105, 130, 185, 250, 370, 630, 920, 1250, and 2000 in rpm.

The results of this study indicate that DVA generally has an effect in reducing the vibration response of the main system, but can also increase the vibration response if it is paired with an incorrect main system variation. In addition, with the use of DVA in all variations of L/D boring bars, the results show that the most optimum design for reducing chatter in the finishing type machining process at a feed rate of 0.1 mm/rev and a depth of cut of 0.5 mm/rev L/D 6.5 with the addition of natural rubber and neophrene rubber at a spindle rotation speed of 130 rpm because the results show that DVA works most optimally in reducing vibration response by more than 95% in all directions (radial, tangential, and axial) so as to reduce vibration as much as possible at its natural frequency.

Keyword: Boring Bar, Sphere Rubber DVA, Overhang Length (L/D₀), Vibration Response

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, serta shalawat dan salam kepada junjungan saya kepada Nabi Muhammad SAW, hingga terselesaikannya Tugas Akhir beserta Laporan Tugas Akhir yang berjudul **Analisis Reduksi Respon Getaran pada Boring Bar dan Pemasangan Sphere Rubber DVA dengan Variasi Dimensi Boring Bar Menggunakan Finite Element**.

Penulis telah banyak memperoleh dukungan serta bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian Tugas Akhir dan Laporan Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. **Ayah, Ibu, dan Keluarga** yang telah memberikan dukungan serta doa yang tiada henti-hentinya agar segala urusan penulis dimudahkan dan dilancarkan oleh Allah SWT.
2. Ibu **Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.** selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan ilmu, petunjuk, nasihat, motivasi, dukungan, serta doa dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. **Prof. Dr. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng., Ibu Aida Annisa Amin Daman, S.T., M.T., dan Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D.** selaku dosen penguji dalam sidang Tugas Akhir Penulis yang telah memberikan masukan serta saran untuk Tugas Akhir ini.
4. Bapak **Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.** selaku dosen wali yang telah membimbing Penulis selama perkuliahan.
5. **Nikolas Prayandi** sebagai seseorang yang menjadi *support system*, selalu siap siaga membantu, dan menemani Penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh teman Tugas Akhir (**Alir, Falin, Najya, Hani, Bob, Takka, dan Faishal**) terima kasih karena selalu membantu, menyemangati, dan menemani Penulis.
7. Teman Penulis (**Kelpo, Jay, Yana, Vicky, Rizaldy, Afif, Fazhli, Edo, dan Faqih**) yang selalu menemani hari demi hari untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan dipenuhi canda, tawa, pujian, cacian, serta semangat yang tiada henti kalian berikan untuk penulis selama perkuliahan. Tanpa kalian skripsiku pasti spaneng.
8. Seluruh teman-teman angkatan M61 yang telah menemani selama menempuh pendidikan di Departemen Teknik Mesin FT-IRS ITS.
9. Seluruh dosen, karyawan, dan civitas akademika Departemen Teknik Mesin FT-IRS ITS, terima kasih atas segala bantuan dan kerjasamanya selama ini.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih atas bantuan serta doa-doa baiknya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidak sempurna, namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi positif dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Mesin khususnya, dan civitas akademika ITS pada umumnya. Selain itu, semoga dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan Tugas Akhir bagi mahasiswa yang akan mengerjakan.

Surabaya, 13 Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	iv
LEMBAR PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II DASAR TEORI & TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Dasar Teori	3
2.1.1 Multi Degree of Freedom	3
2.1.2 Dynamic Vibration Absorber (DVA).....	4
2.1.2.1 Undamped Dynamic Vibration Absorber.....	4
2.1.2.2 Damped Dynamic Vibration Absorber	6
2.1.3 Mesin Bubut dan Gaya pada Permesinan	8
2.1.4 Teori Optimalisasi	10
2.2 Tinjauan Pustaka	11
BAB III METODE PENELITIAN	20
3.1 Metodologi Penelitian	20
3.2 Penjelasan Tahap Penelitian.....	21
3.2.1 Studi Literatur.....	21
3.2.2 Identifikasi Masalah	21
3.2.3 Perancangan Mekanisme Sistem Utama (Boring Bar) dan DVA	22
3.2.3.1 Perancangan Mekanisme Sistem Utama (Boring Bar).....	22
3.2.3.2 Perancangan Mekanisme DVA	23
3.2.4 Pemodelan Sistem Dinamis.....	24
3.2.4.1 Sistem Utama Tanpa Dynamic Vibration Absorber (DVA)	24
3.2.4.2 Sistem Utama dengan Penambahan <i>Dynamic Vibration</i> <i>Absorber</i> (DVA).....	25
3.2.5 Penurunan Persamaan Gerak	26
3.2.5.1 Sistem Utama Tanpa Dynamic Vibration Absorber (DVA)	27
3.2.5.2 Sistem Utama dengan Penambahan <i>Dynamic Vibration</i> <i>Absorber</i> (DVA).....	28
3.2.6 Perancangan Desain.....	30
3.2.6.1 Sistem Utama	30
3.2.6.2 DVA	32
3.2.7 Penentuan Parameter	32
3.2.7.1 Cutting Parameter.....	33
3.2.7.2 Gaya Eksitasi.....	35
3.2.7.3 Sistem Utama (Boring Bar).....	35
3.2.7.3.1 Nilai Konstanta Kekakuan Boring Bar (K_1).....	35

3.2.7.3.2	Nilai Massa Ekuivalen <i>Boring Bar</i> (M_1)	37
3.2.7.3.3	Nilai Konstanta Redaman <i>Boring Bar</i> (C_1)	38
3.2.7.4	DVA	39
3.2.8	Simulasi	45
3.2.8.1	Engineering Data	45
3.2.8.2	Geometri	45
3.2.8.3	Connection	46
3.2.8.4	Mesh	47
3.2.8.5	Force dan Fixed Support	48
3.2.8.6	Modal dan Harmonic Response	49
3.2.9	Reduksi Respon Getaran	50
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN		51
4.1	Flowchart Analisis Data	51
4.2	Analisis Respon Getaran	52
4.2.1	Respon Getaran Boring Bar Tanpa DVA	52
4.2.1.1	Analisis Respon Getaran Boring Bar Tanpa DVA Sumbu X (Radial)	52
4.2.1.2	Analisis Respon Getaran Boring Bar Tanpa DVA Sumbu Y (Tangential)	55
4.2.1.3	Analisis Respon Getaran Boring Bar Tanpa DVA Sumbu Z (Axial)	57
4.2.2	Respon Getaran Boring Bar Dengan DVA	59
4.2.2.1	Analisis Respon Getaran Boring Bar Dengan Natural Rubber DVA	59
4.2.2.2	Analisis Respon Getaran Boring Bar Dengan Neophrene Rubber DVA	63
4.3	Analisis Reduksi Getaran	67
4.3.1	Analisis Reduksi Getaran Dengan Natural Rubber DVA	67
4.3.2	Analisis Reduksi Getaran Dengan Neophrene Rubber DVA	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		73
5.1	Kesimpulan	73
5.2	Saran	73
DAFTAR PUSTAKA		74
LAMPIRAN		75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Undamped System with Three Degree of Freedom (Rao, 2011).....	3
Gambar 2.2	Undamped Dynamic Vibration Absorber (Rao, 2011).....	4
Gambar 2.3	The Effect of Undamped Vibration Absorber on Main System Response (Rao, 2011).....	6
Gambar 2.4	Dynamic System Modeling with Damped DVA (Rao, 2011).....	6
Gambar 2.5	The Effect of Damped Dynamic Vibration Absorber on Main System Response (Rao, 2011).....	7
Gambar 2.6	Components on Conventional Lathe Machine (Kalpakjian & Schmid, 2010) ...	8
Gambar 2.7	Forces on Turning Process (Kalpakjian & Schmid, 2010)	9
Gambar 2.8	General Recommendations for Turning Operations (Kalpakjian & Schmid, 2010).....	10
Gambar 2.9	Customized Boring Bar Design (Dasuta, 2022)	11
Gambar 2.10	ST-41 Test Specimen Surface Results on RMS Value (Dasuta, 2022)	12
Gambar 2.11	Comparison between Research Results Using.....	12
Gambar 2.12	Illustration of Boring Bar Installation on Clamp and DVA with Mass Ring Variations (Merdekawan, 2020).....	13
Gambar 2.13	45 Cutting Parameters on Stable Zone 4 Boring Bar Design (Merdekawan, 2020).....	13
Gambar 2.14	Main System's Bode Diagram (a) Without DVA and (b) With DVA (Addinuri, 2021).....	14
Gambar 2.15	Graph of The Effect of DVA in Reducing The Main System Vibration Response to The Reduced Variation (Addinuri, 2021)	14
Gambar 2.16	Illustration of Boring Bar Structure with Variable Stiffness DVA (Li et al., 2019).....	15
Gambar 2.17	Boring Bar Dynamic Modeling with Variable Stiffness DVA (Li et al., 2019)	15
Gambar 2.18	Comparison Graph of Boring Bar Amplitude Ratio to Frequency Ratio with Variation in Stiffness DVA (Li et al., 2019)	15
Gambar 2.19	3D Image of Amplitude Ratio Under Effect of Frequency Ratio and Stiffness (Li et al., 2019)	16
Gambar 2.20	Table of Cutting Conditions for Tool Life (Thomas et al., 2019)	16
Gambar 2.21	Toolbar with Its Cavity Filled with Spheres	17
Gambar 2.22	Vibration on Tools for All Types of Boring Bar (Thomas et al., 2019).....	17
Gambar 2.23	Schematic Diagram of Passive Control System (Hong et al., 2017)	18
Gambar 2.24	Design of Tunable Damped Boring Bar (Hong et al., 2017).....	18
Gambar 2.25	Table of Comparison of Theoretical Natural Frequency with Test Results on Boring Bar (Hong et al., 2017).....	18
Gambar 3.1	Research Flowchart.....	21
Gambar 3.2	Boring Bar Design	22
Gambar 3.3	Head on Boring Bar	22
Gambar 3.4	(a) Insert (b) Bolt	23
Gambar 3.5	The Main System without DVA	23
Gambar 3.6	Boring Bar on Lathe Machine.....	23
Gambar 3.7	Dynamic Vibration Absorber.....	24

Gambar 3.8	Main System Arrangement with DVA	24
Gambar 3.9	Main System Dynamic Modeling Without DVA on Y and Z axis.....	25
Gambar 3.10	Main System Dynamic Modeling Without DVA on Y and X axis	25
Gambar 3.11	Main System Dynamic Modeling with Added DVA on Y and Z axis	26
Gambar 3.12	Main System Dynamic Modeling with Added DVA on Y and X axis.....	26
Gambar 3.13	Free Body Diagram of Main System Without DVA on Y-axis.....	27
Gambar 3.14	Free Body Diagram of Main System Without DVA on X-axis.....	27
Gambar 3.15	Free Body Diagram of Main System Without DVA on Z-axis	27
Gambar 3.16	Free Body Diagram of Main System with DVA on Y-axis.....	28
Gambar 3.17	Free Body Diagram of Main System with DVA on Z-axis	29
Gambar 3.18	Free Body Diagram of Main System with DVA on X-axis.....	29
Gambar 3.19	Dimension of Body Boring Bar	30
Gambar 3.20	Body Boring Bar	30
Gambar 3.21	Carbide Insert.....	31
Gambar 3.22	Head	31
Gambar 3.23	Pin	31
Gambar 3.24	Mass Spherical	32
Gambar 3.25	Rubber.....	32
Gambar 3.26	Housing	32
Gambar 3.27	Spindle Rotation Variations on a Lathe Machine	33
Gambar 3.28	Forces in The Cutting Process	34
Gambar 3.29	Directional Deformation (Y-axis) of Boring Bar.....	36
Gambar 3.30	Mass DVA with Natural Rubber.....	39
Gambar 3.31	Mass DVA with Neophrene Rubber	39
Gambar 3.32	Static Deformation DVA with Natural Rubber Y-Axis Direction	40
Gambar 3.33	Static Deformation DVA with Neophrene Rubber Y-Axis Direction	40
Gambar 3.34	Natural Frequency DVA with Natural Rubber	40
Gambar 3.35	Natural Frequency DVA with Neophrene Rubber.....	41
Gambar 3.36	Mass of Natural Rubber	42
Gambar 3.37	Mass of Natural Rubber	42
Gambar 3.38	Natural Rubber Static Deformation Y-Axis Direction	42
Gambar 3.39	Neophrene Rubber Static Deformation Y-Axis Direction.....	43
Gambar 3.40	Natural Frequency of Natural Rubber.....	43
Gambar 3.41	Natural Frequency of Neophrene Rubber	43
Gambar 3.42	The Main System with DVA	45
Gambar 3.43	Bonded Connection.....	47
Gambar 3.44	(a) Mesh (b) Mesh Quality (c) Skewness and Orthogonal Quality	48
Gambar 3.45	(a) Excitation Force at The Edge of Boring Bar (b) Fixed Support at The Back of Boring Bar	48
Gambar 3.46	Modal and Harmonic Response	49
Gambar 3.47	Frequency Response at The Edge of Chisel	49
Gambar 4.1	Data Analysis and Discussion Flowchart	52
Gambar 4.2	X-Axis L/D 6 Regular Boring Bar (a) Directional Deformation (b) Natural Frequency (c) Bode Diagram	54
Gambar 4.3	Vibration Response of Regular Boring Bar in X-Axis Direction	54

Gambar 4.4	Y-Axis L/D 6 Regular Boring Bar (a) Directional Deformation (b) Natural Frequency (c) Bode Diagram	56
Gambar 4.5	Vibration Response of Regular Boring Bar in Y-Axis Direction	56
Gambar 4.6	Z-Axis L/D 6 Regular Boring Bar (a) Directional Deformation (b) Natural Frequency (c) Bode Diagram	58
Gambar 4.7	Vibration Response of Regular Boring Bar in Z-Axis Direction	58
Gambar 4.8	Y-Axis L/D 6 Boring Bar with Natural Rubber DVA (a) Directional Deformation (b) Natural Frequency (c) Bode Diagram	60
Gambar 4.9	Vibration Response of Boring Bar with Natural Rubber DVA in Y-Axis Direction	62
Gambar 4.10	Y-Axis L/D 6 Boring Bar with Neophrene Rubber DVA (a) Directional Deformation (b) Natural Frequency (c) Bode Diagram	64
Gambar 4.11	Vibration Response of Boring Bar with Neophrene Rubber DVA in Y-Axis Direction	66
Gambar 4.12	Diagram of The Effect of Natural Rubber DVA in Reducing The Main System Vibration Response on The Reduced Variation	68
Gambar 4.13	Diagram of The Effect of Natural Rubber DVA in Reducing The Vibration Response of The Main System at Reduced Variations in All Axes	69
Gambar 4.14	Diagram of The Effect of Neophrene Rubber DVA in Reducing The Main System Vibration Response on The Reduced Variation	70
Gambar 4.15	Diagram of The Effect of Neophrene Rubber DVA in Reducing The Vibration Response of The Main System at Reduced Variations in All Axes	71

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Lathe Machine's Cutting Parameters.....	35
Tabel 3.2	Boring Bar Equivalent Stiffness Constant Value	36
Tabel 3.3	Boring Bar Equivalent Mass Value	37
Tabel 3.4	Boring Bar Damping Constant Value.....	38
Tabel 3.5	Boring Bar and DVA Parameters	44
Tabel 3.6	Engineering Data	45
Tabel 4.1	Vibration Response of Regular Boring Bar and Boring Bar With Natural Rubber DVA (a) X-Axis (b) Y-Axis (c) Z-Axis	60
Tabel 4.2	Vibration Response of Regular Boring Bar and Boring Bar With Neophrene Rubber DVA (a) X-Axis (b) Y-Axis (c) Z-Axis	64
Tabel 4.3	Vibration Reduction with Natural Rubber DVA	67
Tabel 4.4	Vibration Reduction with Neophrene Rubber DVA	69

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses *boring* merupakan salah satu proses dari berbagai macam proses permesinan yang sering dilakukan, salah satunya yaitu dengan menggunakan mesin bubut. Mesin bubut bekerja dengan memutar benda kerja dan mendekatinya dengan pahat yang dipasang pada ujung *boring bar*. Ketika proses bubut berlangsung, akan timbul getaran pada *boring bar* yang disebabkan oleh gesekan antara benda kerja yang berputar dengan pahat. Apabila getaran tersebut memiliki amplitudo yang tinggi, akan berdampak negatif pada kualitas produk yang dihasilkan. Selain itu, dalam kurun waktu tertentu getaran tersebut juga dapat merusak berbagai komponen yang terdapat pada mesin bubut. Oleh karena itu, untuk menghindari resonansi yang terjadi pada *boring bar* diperlukan adanya pemasangan *Dynamic Vibration Absorber* (DVA) sebagai peredam getaran yang terjadi di mesin bubut.

Penelitian penggunaan DVA untuk meredam adanya getaran berlebih sudah banyak dilakukan, salah satunya yaitu penelitian yang pernah dilakukan oleh Li et al. (2019) dimana dalam penelitian tersebut dilakukan analisis pemodelan *boring bar* dengan penambahan DVA untuk melihat respon reduksi getaran yang dihasilkan dengan memvariasikan nilai kekakuan DVA untuk mendapatkan DVA yang optimal ketika dioperasikan pada frekuensi eksitasi tertentu. Selain itu, terdapat penelitian yang sudah dilakukan oleh Addinuri (2021) dengan dilakukan pemodelan dan analisis reduksi respon getaran dengan memvariasikan dimensi *boring bar* hingga didapatkan DVA yang dapat mereduksi secara optimum. Sehingga berdasarkan penelitian yang sudah ada, pada penelitian ini akan menggunakan *sphere rubber* DVA sebagai metode baru yang cukup efektif untuk meredam getaran dengan menambahkan massa *absorber* pada sistem utama yaitu *boring bar*.

Dalam penelitian simulasi ini dilakukan optimalisasi dengan pemodelan analisis reduksi respon getaran *boring bar* yang menggunakan *sphere rubber* DVA dengan variasi dimensi *boring bar* pada mesin bubut. Untuk mengetahui respon getaran pada sistem *boring bar*, dilakukan variasi dimensi terhadap *overhang length* (L/D_o) pada *boring bar*. Untuk sistem DVA yang dipasang pada *boring bar* sendiri berbentuk bola karet dimana diberikan nilai massa dan kekakuan yang sama pada masing-masing variasi dimensi untuk mengetahui hasil redaman yang paling optimal. Variasi dimensi tersebut didasari dari referensi jurnal yang berkaitan bahwa variasi *overhang length* (L/D_o) *boring bar* dengan material AISI 1045 mampu bekerja dengan baik dan stabil pada rentang 6 hingga 12. Hasil dari penelitian ini adalah untuk mengetahui reduksi respon getaran yang paling optimal dari seluruh variasi *overhang length* (L/D_o) pada *boring bar* dengan adanya penambahan *sphere rubber* DVA dengan menggunakan *software* ANSYS.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan di atas, didapatkan rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi dimensi *boring bar* dengan menggunakan *sphere rubber* DVA terhadap reduksi respon getaran yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh dari dimensi *overhang length* (L/D_o) *boring bar* dan putaran *spindle* yang digunakan terhadap respon getaran sistem utama yang dihasilkan?
3. Bagaimana desain *overhang length* (L/D_o) *boring bar* yang optimal untuk diredam oleh *sphere rubber* DVA yang ada?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan di atas, didapatkan tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi dimensi *boring bar* dengan menggunakan *sphere rubber* DVA terhadap reduksi respon getaran yang dihasilkan.
2. Mengetahui pengaruh dari dimensi *overhang length* (L/D_o) *boring bar* dan putaran *spindle* yang digunakan terhadap respon getaran sistem utama yang dihasilkan.
3. Mengetahui desain *overhang length* (L/D_o) *boring bar* yang optimal untuk diredam oleh *sphere rubber* DVA yang ada.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kecepatan pemakanan dianggap sama.
2. Getaran dari luar mekanisme yang memengaruhi proses pemotongan diabaikan, dalam hal ini hanya getaran pada *boring bar* yang diteliti.
3. Gaya dan arah pemotongan yang ditinjau merupakan resultan dari 3 gaya yang bekerja akibat proses *boring*.
4. Kenaikan temperatur material pada saat proses *boring* diabaikan.
5. Nilai konstanta kekakuan karet dianggap *linear*.
6. Benda kerja dianggap tidak bergetar.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai referensi untuk penelitian yang berkaitan dengan *spherical rubber Dynamic Vibration Absorber* (DVA) pada *boring bar* yang diterapkan pada mesin bubut.
2. Sebagai sebuah inovasi untuk meningkatkan efisiensi pada mesin bubut dengan mengetahui optimal desain yang diperlukan pada frekuensi operasi tertentu.

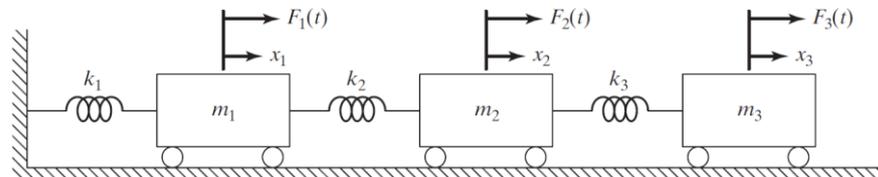
BAB II DASAR TEORI & TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

Secara umum, getaran didefinisikan sebagai gerakan bolak-balik suatu benda dari posisi awal melalui titik keseimbangan dengan periode, amplitudo, dan frekuensi tertentu dalam suatu interval waktu. Setiap komponen yang memiliki massa dan pegas maka memiliki frekuensi natural. Frekuensi natural tersebut yang akan memengaruhi respon getaran dari suatu sistem. Salah satu contoh getaran yang sering kita jumpai adalah getaran paksa pada komponen mesin yang disebabkan oleh putaran motor. Oleh karena itu, teori yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah mekanika getaran sebagai landasan dan literatur. Adapun subbab yang akan dibahas antara lain mengenai *Multi Degree of Freedom* dan *Dynamic Vibration Absorber*.

2.1.1 Multi Degree of Freedom

Multi Degree of Freedom (MDOF) atau biasa dikenal sebagai sistem getaran dengan multi derajat kebebasan diartikan sebagai posisi suatu sistem yang berpindah tempat dalam lebih dari satu arah atau banyak arah. Setiap derajat kebebasan akan menentukan jumlah dari frekuensi natural dari sistem. Pada getaran ini menggunakan Hukum Newton Kedua untuk mendapatkan persamaan gerak dari suatu sistem dinamis. Sistem getaran dengan MDOF menggunakan persamaan matriks untuk merepresentasikan sistem karena memiliki penyelesaian aljabar yang kompleks. Secara sederhana, sistem getaran dengan MDOF tersebut dapat dimodelkan melalui sistem massa-pegas yang ditarik oleh gaya seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 *Undamped System with Three Degree of Freedom* (Rao, 2011)

Berdasarkan gambar sistem dinamis di atas, maka didapatkan persamaan gerak untuk masing-masing massa dengan Hukun Newton kedua.

$$m_i \ddot{x}_i + k_i x_i = \sum F_i \quad (2.1)$$

Dari persamaan (2.1) di atas dengan nilai $i = 1, 2,$ dan $3,$ dapat ditulis dalam bentuk matriks sebagai berikut.

$$[m] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}; [k] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix}; [F] = \begin{Bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \\ F_3(t) \end{Bmatrix} \quad (2.2)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (2.1) ke persamaan (2.2), maka didapatkan persamaan gerak dengan matriks 3x3 seperti di bawah ini.

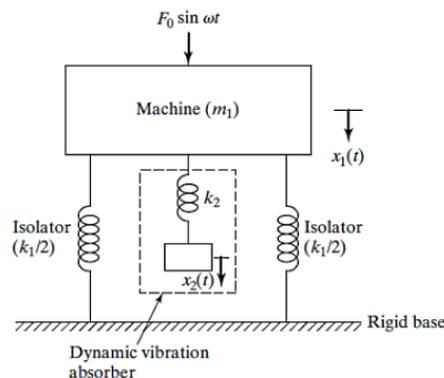
$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_2 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \\ F_3(t) \end{Bmatrix} \quad (2.3)$$

2.1.2 Dynamic Vibration Absorber (DVA)

Dynamic Vibration Absorber (DVA) merupakan suatu metode reduksi getaran dengan cara menambahkan sebuah alat yang terdiri dari massa dan pegas sekunder yang digunakan untuk menghilangkan atau mengurangi getaran yang tidak diinginkan pada sistem utama. DVA dapat menyerap getaran dari berbagai arah eksitasi, bergantung pada komponen dan mekanisme DVA. Tanpa menggunakan DVA, getaran berlebih pada sistem utama akan sulit dikontrol sehingga dapat mengakibatkan penurunan efisiensi dari sistem itu sendiri. Penambahan DVA pada sistem menimbulkan adanya massa *absorber* dan pegas yang memiliki kekakuan tertentu. Berdasarkan ada atau tidaknya peredam, DVA dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu *undamped dynamic vibration absorber* dan *damped dynamic vibration absorber*.

2.1.2.1 Undamped Dynamic Vibration Absorber

Suatu sistem memiliki massa utama (m_1) dan pegas dengan kekakuan (k_1). Penambahan *undamped* DVA pada sistem menimbulkan adanya massa *absorber* (m_2) dan pegas *absorber* (k_2). Sistem tersebut dapat dimodelkan seperti gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 *Undamped Dynamic Vibration Absorber* (Rao, 2011)

Berdasarkan gambar di atas, didapatkan persamaan gerak dari massa utama (m_1) dan massa *absorber* (m_2), yaitu sebagai berikut.

$$m_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 + k_2 (x_1 - x_2) = F_0 \sin \omega t \quad (2.4)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + k_2 (x_2 - x_1) = 0 \quad (2.5)$$

Dengan asumsi persamaan harmonik, maka didapatkan:

$$x_j(t) = X_j \sin \omega t, \quad j = 1, 2 \quad (2.6)$$

Sehingga diperoleh amplitudo *steady state* dari massa utama (m_1) dan massa *absorber* (m_2), sebagai berikut.

$$X_1 = \frac{(k_2 - m_2 \omega^2) F_0}{(k_1 + k_2 - m_1 \omega^2)(k_2 - m_2 \omega^2) - k_2^2} \quad (2.7)$$

$$X_2 = \frac{k_2 F_0}{(k_1 + k_2 - m_1 \omega^2)(k_2 - m_2 \omega^2) - k_2^2} \quad (2.8)$$

Agar dapat meredam getaran, maka penambahan massa dan pegas *absorber* guna mengurangi amplitudo gerakan massa utama harus bernilai nol. Oleh karena itu, nilai nol tersebut mampu didapatkan apabila nilai pembilang dari persamaan (2.7) bernilai nol juga. Sehingga didapatkan persamaan berikut ini.

$$\omega^2 = \frac{k_2}{m_2} \quad (2.9)$$

Dan apabila massa utama (m_1) dioperasikan pada daerah resonansi, maka:

$$\omega_1 \approx \omega_2 = \frac{k_1}{m_1} \quad (2.10)$$

Sehingga didapatkan persamaan seperti di bawah ini.

$$\omega^2 = \frac{k_2}{m_2} = \frac{k_1}{m_1} \quad (2.11)$$

Dengan ditambahkan DVA dan sistem utama beroperasi pada frekuensi resonansi, maka amplitudo dari gerakan sistem utama akan bernilai nol. Dengan mendefinisikan:

$$\delta_{st} = \frac{F_0}{k_1} \quad (2.12)$$

$$\omega_1 = \left(\frac{k_1}{m_1}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.13)$$

Sebagai frekuensi natural sistem utama, dan

$$\omega_2 = \left(\frac{k_2}{m_2}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.14)$$

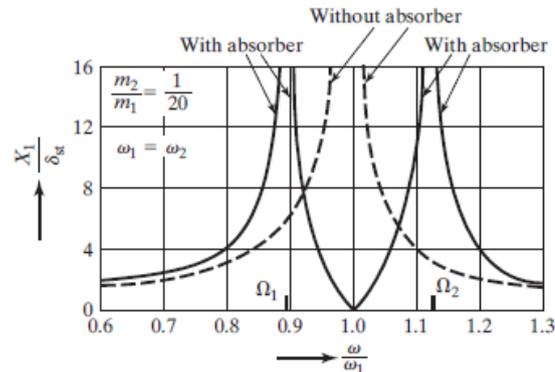
Sebagai frekuensi natural *absorber*. Maka didapatkan persamaan seperti berikut ini.

$$\frac{X_1}{\delta_{st}} = \frac{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_2}\right)^2}{\left[1 + \frac{k_2}{k_1} - \left(\frac{\omega}{\omega_2}\right)^2\right] \left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_2}\right)^2\right] - \frac{k_2}{k_1}} \quad (2.15)$$

$$\frac{X_2}{\delta_{st}} = \frac{1}{\left[1 + \frac{k_2}{k_1} - \left(\frac{\omega}{\omega_2}\right)^2\right] \left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_2}\right)^2\right] - \frac{k_2}{k_1}} \quad (2.16)$$

Gambar 2.3 di bawah ini merupakan variasi amplitudo getaran massa utama (X_1/δ_{st}) dengan kecepatan sudut (ω/ω_1). Seperti yang kita ketahui sebelumnya, penambahan DVA pada sistem utama akan dapat mengubah

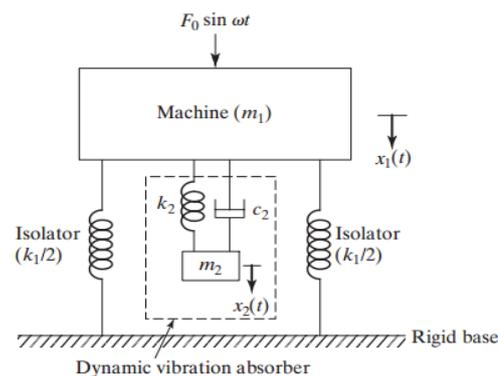
frekuensi natural dari sistem yang awalnya satu menjadi dua. Gambar tersebut merupakan skema efek penggunaan DVA pada rasio amplitudo respon terhadap deformasi statis sistem utama dengan rasio frekuensi operasional terhadap frekuensi natural sistem dengan perbandingan massa utama dengan massa *absorber* adalah 20:1.



Gambar 2.3 The Effect of Undamped Vibration Absorber on Main System Response (Rao, 2011)

2.1.2.2 Damped Dynamic Vibration Absorber

Pada *undamped* DVA telah dijelaskan bahwa *dynamic vibration absorber* dapat merubah puncak resonansi yang awalnya satu menjadi dua puncak. Sehingga, mesin akan mengalami getaran dengan amplitudo besar saat melewati batas puncak resonansi sebelum mencapai frekuensi operasional. Oleh karena itu, getaran tersebut sangatlah perlu direduksi dengan menggunakan peredam. Amplitudo dari mesin dapat direduksi dengan penambahan sistem DVA dengan peredam (*damped dynamic vibration absorber*) seperti gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.4 Dynamic System Modeling with Damped DVA (Rao, 2011)

Berdasarkan gambar 2.4 di atas, didapatkan persamaan gerak dari massa utama (m_1) dan massa *absorber* (m_2) sebagai berikut.

$$m_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 + k_2 (x_1 - x_2) + c_2 (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) = F_0 \sin \omega t \quad (2.17)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + k_2 (x_2 - x_1) + c_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) = 0 \quad (2.18)$$

Dengan asumsi persamaan harmonik, maka:

$$x_j(t) = X_j e^{i\omega t}, \quad j = 1, 2 \quad (2.19)$$

Sehingga didapatkan amplitudo *steady state* dari massa utama (m_1) dan massa *absorber* (m_2) seperti di bawah ini.

$$X_1 = \frac{F_0(k_2 - m_2\omega^2 + ic_2\omega)}{[(k_1 - m_1\omega^2)(k_2 - m_2\omega^2) - m_2k_2\omega^2] + ic_2\omega(k_1 - m_1\omega^2 - m_2\omega^2)} \quad (2.20)$$

$$X_2 = \frac{X_1(k_2 - ic_2\omega)}{(k_2 - m_2\omega^2 + ic_2\omega)} \quad (2.21)$$

Dimana:

$\mu = m_2 / m_1 =$ Mass ratio

$\delta_{st} = F_0 / k_1 =$ Static deflection of the system

$\omega_{a2} = k_2 / m_2 =$ Square of natural frequency of the absorber

$\omega_{n2} = k_1 / m_1 =$ Square of natural frequency of main mass

$f = \omega_a / \omega_n =$ Ratio of natural frequencies

$g = \omega / \omega_n =$ Forced frequency ratio

$c = 2m\omega_n =$ Critical damping constant

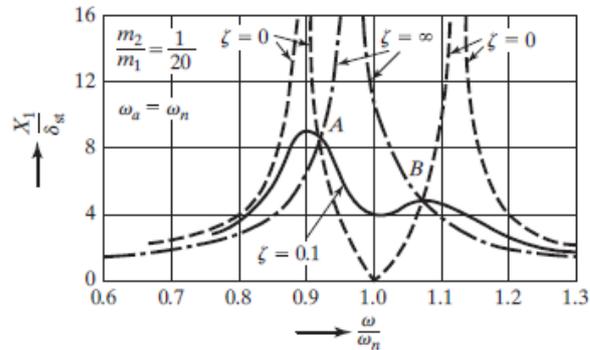
$\zeta = c_2 / c_c =$ Damping ratio

Sehingga nilai X_1 dan X_2 dapat dinyatakan dalam persamaan di bawah ini.

$$\frac{X_1}{\delta_{st}} = \left[\frac{(2\zeta g)^2 + (g^2 f^2)^2}{(2\zeta g)^2 (g^2 - 1 + \mu g^2)^2 + \{\mu f^2 g^2 - (g^2 - 1)(g^2 - f^2)\}^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.22)$$

$$\frac{X_2}{\delta_{st}} = \left[\frac{(2\zeta g)^2 + f^4}{(2\zeta g)^2 (g^2 - 1 + \mu g^2)^2 + \{\mu f^2 g^2 - (g^2 - 1)(g^2 - f^2)\}^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.23)$$

Persamaan (2.22) di atas menunjukkan nilai amplitudo getaran dari massa utama merupakan fungsi dari μ , f , g , dan ζ . Berdasarkan respon gerak pada persamaan di atas, dapat diperoleh grafik hubungan antara rasio amplitudo respon terhadap deformasi statis sistem utama dengan rasio frekuensi operasional terhadap frekuensi natural sistem dimana ζ bernilai 0,1.



Gambar 2.5 The Effect of Damped Dynamic Vibration Absorber on Main System Response (Rao, 2011)

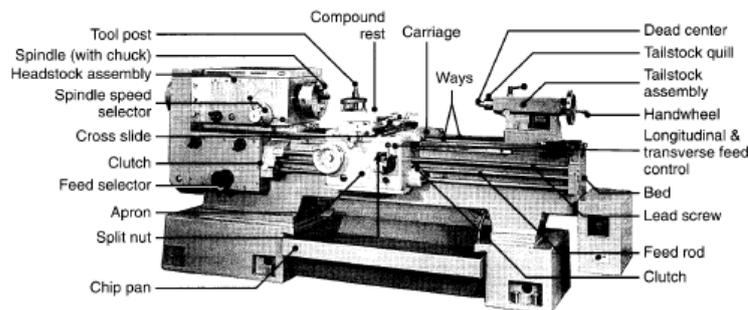
Namun pada aplikasinya, DVA lebih sering digunakan dalam kondisi *undamped* karena pada saat *damping element* ditambahkan pada sistem, maka seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5 di atas bahwasannya pada kondisi resonansi amplitudo dari massa sistem utama tidaklah lagi bernilai nol.

2.1.3 Mesin Bubut dan Gaya pada Permesinan

Secara umum, mesin bubut merupakan salah satu mesin perkakas yang umurnya tergolong paling tua. Meskipun mesin bubut kayu pertama kali dikembangkan pada periode 1000 hingga 1 tahun sebelum masehi, mesin bubut logam dengan *power screws* belum diciptakan sampai akhir tahun 1700-an. Mesin bubut umumnya disebut *lathe engine* karena tenaga mesinnya berasal dari *overhead pulleys* yang disambungkan dengan *belt* dari mesin terdekat pabrik. Namun, pada saat ini mesin bubut modern hampir keseluruhan dilengkapi dengan motor listrik sendiri.

Kecepatan *spindle* maksimum pada mesin bubut biasanya sekitar 4000 rpm, tetapi untuk mesin bubut besar hanya sekitar 200 rpm. Pada aplikasi tertentu, kecepatan dapat mencapai hingga 10.000 rpm, 40.000 rpm, atau lebih tinggi untuk proses yang membutuhkan kecepatan sangat tinggi (*very high speed machining*).

Walaupun sederhana dan serbaguna, mesin bubut tetap membutuhkan ahli mesin (operator) yang terampil karena semua kontrol dikendalikan secara manual (pada mesin bubut konvensional). Oleh karena itu, mesin bubut tidaklah efisien untuk pemakaian berulang dan produksi yang besar.



Gambar 2.6 *Components on Conventional Lathe Machine* (Kalpakjian & Schmid, 2010)

Mesin bubut dilengkapi dengan berbagai komponen dan aksesoris, seperti pada gambar 2.6 di atas. Adapun fungsi dari komponen utama pada mesin bubut yaitu sebagai berikut.

Bed. Komponen ini berfungsi sebagai tumpuan yang menyokong semua komponen utama pada mesin bubut. *Bed* memiliki konstruksi yang berat dan rigid. Bagian utama dari *bed* didesain agar tidak cepat aus.

Carriage. Komponen ini berfungsi untuk mengatur dan memposisikan pahat pada *tool post*, mengontrol pergerakan pahat pada *cross-slide*, serta untuk menggerakkan *power screw* secara manual maupun otomatis.

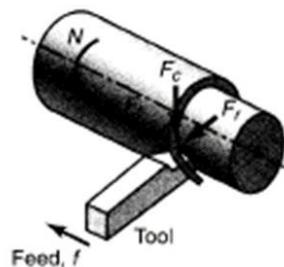
Head Stock. Komponen ini pada dasarnya merupakan bagian dari *bed* yang dilengkapi dengan *motor*, *pulley*, dan *V-belts* yang dapat mentransmisikan daya ke *spindle* dengan berbagai macam variasi kecepatan putar. Komponen ini juga berfungsi sebagai perangkat untuk menahan *spindle*, rantai gigi, penggerak *pulley*, dan lain sebagainya.

Tail Stock. Komponen ini berfungsi untuk membantu menopang benda kerja saat dibutuhkan. Selain itu, komponen ini juga dapat bergerak secara *sliding* dan dapat di-*clamp* pada posisi manapun, sehingga *tail stock* dapat berfungsi sebagai penahan ujung benda kerja.

Feed Rod dan Lead Screw. Komponen ini digerakkan oleh *gear* melalui *head stock*. *Feed rod* berotasi selama proses permesinan dan menggerakkan *carriage* dan *cross-slide* dengan rasio *gear*, alur sepanjang *feed rod*, dan gesekan kopling. Selain itu juga untuk menutup *split nut* pada *lead screw* dan menghubungkan *feed rod* dengan *carriage*. *Split nut* juga digunakan untuk menjalankan proses *threading* secara akurat.

Chuck. Komponen ini berfungsi untuk memegang serta mengunci benda kerja.

Secara prinsip, pada saat proses *turning*, terdapat tiga jenis gaya yang bekerja pada pahat. Gaya-gaya tersebut sangat penting untuk mendesain pahat, sebagaimana pula dengan analisis deformasi pada pahat dan benda kerja guna mendapatkan hasil yang presisi. Pahat dan komponen mesin harus didesain agar dapat menerima beban atau gaya tanpa mengalami deformasi yang signifikan, vibrasi, dan *chatter* pada saat proses permesinan berlangsung.



Gambar 2.7 Forces on Turning Process (Kalpakjian & Schmid, 2010)

Cutting force (Fc). *Cutting force* bekerja ke arah bawah pada bagian ujung pahat dan mengakibatkan pahat terdeformasi ke bawah, sedangkan benda kerja terdeformasi ke atas. *Cutting force* memberikan energi yang dibutuhkan pada proses pemakanan benda kerja, dan dapat dihitung dengan nilai spesifik energi per unit volume yang diberikan pada gambar 2.8. Perkalian dari *cutting force* dengan jari-jari benda kerja adalah nilai dari torsi yang bekerja pada *spindle*. Sedangkan perkalian dari torsi *spindle* dan kecepatan putar adalah nilai dari *power* yang dibutuhkan.

Thrust force (Ft). *Thrust force* bekerja ke arah longitudinal. *Thrust force* juga biasa disebut dengan *feed force*, karena bekerja pada arah pemakanan pahat. Gaya ini mendorong pahat berlawanan arah dari arah pemakanan.

Radial force (Fr). *Radial force* bekerja pada arah radial dan mendorong pahat menjauhi benda kerja.

Dikarenakan banyak faktor yang memengaruhi proses pemotongan, *thrust force* (Ft) dan *radial force* (Fr) sangat sulit untuk dihitung secara matematis, kedua gaya tersebut biasanya didapatkan secara eksperimental jika dibutuhkan.

General Recommendations for Turning Operations

TABLE 22.4

Workpiece material	Cutting tool	General-purpose starting conditions			Range for roughing and finishing		
		Depth of cut mm (in.)	Feed mm/rev (in./rev)	Cutting speed m/min (ft/min)	Depth of cut mm (in.)	Feed mm/rev (in./rev)	Cutting speed m/min (ft/min)
Low-C and free-machining steels	Uncoated carbide	1.5-6.3 (0.06-0.25)	0.35 (0.014)	90 (300)	0.5-7.6 (0.02-0.30)	0.15-1.1 (0.006-0.045)	60-135 (200-450)
	Ceramic-coated carbide	"	"	245-275 (800-900)	"	"	120-425 (400-1400)
	Triple coated carbide	"	"	185-200 (600-650)	"	"	90-245 (300-800)
	TiN-coated carbide	"	"	105-150 (350-500)	"	"	60-230 (200-750)
	Al ₂ O ₃ ceramic	"	0.25 (0.010)	395-440 (1300-1450)	"	"	365-550 (1200-1800)
	Cermet	"	0.30 (0.012)	215-290 (700-950)	"	"	105-455 (350-1800)
	Uncoated carbide	1.2-4.0 (0.05-0.20)	0.30 (0.012)	75 (250)	2.5-7.6 (0.10-0.30)	0.15-0.75 (0.006-0.03)	45-120 (150-400)
	Ceramic-coated carbide	"	"	185-230 (600-750)	"	"	120-410 (400-1350)
Medium and high-C steels	Triple coated carbide	"	"	120-150 (400-500)	"	"	75-215 (250-700)
	TiN-coated carbide	"	"	90-200 (300-650)	"	"	45-215 (150-700)
	Al ₂ O ₃ ceramic	"	0.25 (0.010)	335 (1100)	"	"	245-455 (800-1500)
	Cermet	"	0.25 (0.010)	170-245 (550-800)	"	"	105-305 (350-1000)

Kalpakjian • Schmid
Manufacturing Engineering and Technology

© 2001 Prentice-Hall

Page 22-11

Gambar 2.8 General Recommendations for Turning Operations (Kalpakjian & Schmid, 2010)

Gambar 2.8 di atas merupakan spesifik rekomendasi parameter pemotongan proses *turning* untuk berbagai material benda kerja dan pahat.

Gaya pada proses permesinan dapat diukur dengan *force transducer*, *dynamometer*, atau *load cell*. *Transducer* memiliki frekuensi natural dan kekakuan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan *dynamometer*, sehingga lebih baik dalam menahan vibrasi dan deformasi berlebih. Selain itu, berbeda dengan *thrust force* (Ft) dan *radial force* (Fr), *cutting force* (Fc) dapat dihitung secara matematis dari konsumsi *power* selama pemotongan.

$$P = F_c \cdot V = E \cdot \text{MRR} \quad (2.24)$$

$$F_c = \frac{E \cdot \text{MRR}}{V} \quad (2.25)$$

Dimana:

P = Power

F_c = Cutting force

V = Cutting speed

E = Specific energy

MRR = Material removal rate

2.1.4 Teori Optimalisasi

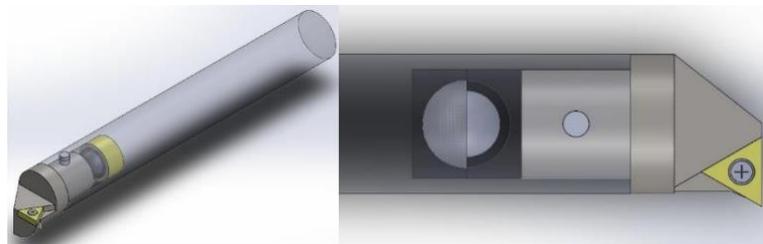
Menurut Rao (2009), optimalisasi dapat didefinisikan sebagai proses untuk mendapatkan keadaan yang memberikan nilai maksimum atau minimum dari suatu fungsi. Menurut Winardi (1999), optimalisasi adalah ukuran yang menyebabkan tercapainya tujuan. Sedangkan jika dipandang dari sudut usaha, optimalisasi adalah usaha memaksimalkan kegiatan sehingga mewujudkan keuntungan yang diinginkan atau dikehendaki. Menurut KBBI (2016), optimalisasi berasal dari kata dasar optimal

yang berarti terbaik, tertinggi, dan paling menguntungkan. Selain itu juga, dapat berarti menjadikan paling baik, menjadikan paling tinggi, pengoptimalan proses, cara, perbuatan mengoptimalkan, sehingga optimalisasi adalah suatu tindakan, proses, atau metodologi untuk membuat sesuatu (sebagai sebuah desain, sistem, atau keputusan) menjadi lebih atau sepenuhnya sempurna, fungsional, atau lebih efektif.

Berdasarkan beberapa pengertian tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa optimalisasi adalah suatu proses kegiatan untuk meningkatkan dan mengoptimalkan sebuah desain atau sistem menjadi lebih atau sepenuhnya sempurna, fungsional, bahkan lebih efektif, serta mencari solusi terbaik dari beberapa masalah agar tercapai tujuan sebaik-baiknya sesuai dengan kriteria tertentu.

2.2 Tinjauan Pustaka

Penelitian Tugas Akhir ini menggunakan beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya sebagai referensi dimana nantinya pada penelitian ini akan lebih terfokus pada perancangan desain *overhang length* (L/D_0) pada *boring bar*. Gjupea Slev Dasuta (2022) melakukan penelitian yang berjudul “Studi Eksperimental dan Analisis Reduksi Respon Getaran Proses *Boring* pada Mesin Bubut Menggunakan *Spherical Damper* pada *Boring Bar*” yang merupakan penelitian mengenai studi eksperimental analisis reduksi respon getaran dengan penambahan DVA pada *boring bar*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui cara mereduksi getaran yang terjadi pada saat proses *boring*, mekanisme, dan reduksi getaran yang terjadi setelah pemasangan DVA pada *boring bar*, serta untuk mengetahui pengaruh yang muncul pada respon getaran bila sistem diberi variasi *depth of cut* dan kecepatan perputaran *spindle* pada mesin bubut. Berikut merupakan ilustrasi dari sistem yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 2.9 Customized Boring Bar Design (Dasuta, 2022)

Pengujian dilakukan saat *boring bar* melakukan proses *internal turning* pada spesimen uji ST-41 pada parameter pengujian yang sudah ditentukan. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh respon getaran pada benda kerja, serta adanya reduksi getaran ketika *boring bar* ditambahkan *Dynamic Vibration Absorber* (DVA), dengan cara membandingkan dengan hasil uji *boring bar* tanpa menggunakan DVA atau *regular boring bar*. Analisis pengujian dilakukan pada 2 sumbu, yakni sumbu radial (*X-axis*) dan tangensial (*Y-axis*).

Setelah pengujian dilakukan, didapatkan nilai reduksi respon getaran paling optimal pada masing-masing *axis*. Nilai reduksi respon getaran terbaik pada *X-axis* dan *Y-axis* dicapai pada pengujian DVA *natural rubber* pada parameter pengujian B9 dengan nilai reduksi sebesar 77,59%, dan pada *Y-axis* sebesar 78,59%. Sementara nilai reduksi terendah dicapai oleh pengujian DVA *silicone rubber* pada kedua *axis*. Pada pengujian *X-axis* pada parameter B1 yakni sebesar 2,79%, dan di *Y-axis* pada parameter B3 sebesar 2,64%.

Variation code	Result of ST-41 Surface Roughness		
	Regular	Silicone rubber	Natural rubber
B1	Halus	Halus	Kasar
B2	Halus	Halus	Halus
B3	Kasar	Kasar	Halus
B4	Kasar	Halus	Halus
B5	Kasar	Halus	Halus
B6	Kasar	Halus	Halus
B7	Kasar	Halus	Halus
B8	Kasar	Halus	Halus
B9	Kasar	Halus	Halus

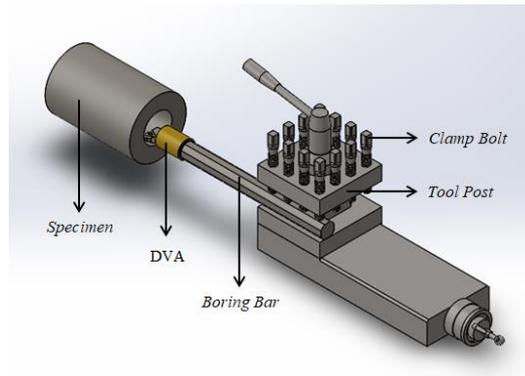
Gambar 2.10 ST-41 Test Specimen Surface Results on RMS Value (Dasuta, 2022)

Simulation Result					Experimental Result				
Tangential					Tangential				
Spindle Speed (rpm)	Depth of Cut (mm)	Reduction rate		Higher Reduction achieved by	Spindle Speed (rpm)	Depth of Cut (mm)	Reduction rate		Higher Reduction achieved by
		Silicone rubber	Natural rubber				Silicone rubber	Natural rubber	
320	0.4	11.23%	9.21%	Silicone	320	0.4	2.64%	-12.17%	Silicone
450	0.4	10.81%	9.68%	Silicone	450	0.4	34.33%	28.34%	Silicone
720	0.4	3.12%	3.25%	Natural	720	0.4	71.86%	78.59%	Natural
Radial					Radial				
Spindle Speed (rpm)	Depth of Cut (mm)	Reduction rate		Higher Reduction achieved by	Spindle Speed (rpm)	Depth of Cut (mm)	Reduction rate		Higher Reduction achieved by
		Silicone rubber	Natural rubber				Silicone rubber	Natural rubber	
320	0.4	-0.18%	-2.55%	Silicone	320	0.4	-4.62%	-7.23%	Silicone
450	0.4	10.48%	9.68%	Silicone	450	0.4	25.80%	22.54%	Silicone
720	0.4	2.46%	2.60%	Natural	720	0.4	73.46%	77.59%	Natural

Gambar 2.11 Comparison between Research Results Using Simulation with Experimental Research on Variation of Parameters Same Cut (Dasuta, 2022)

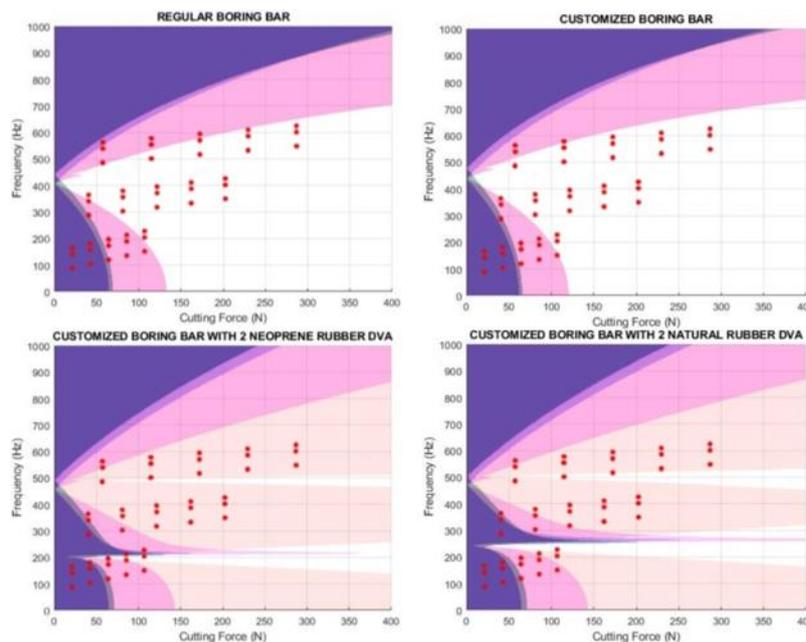
Perbedaan nilai persentase reduksi antara kedua penelitian memiliki jarak yang sangat besar dan berbeda. Hal tersebut dikarenakan kondisi semua elemen pada penelitian simulasi sangat berbeda dengan kondisi *real*. Contohnya ada pada kondisi permukaan spesimen, kondisi *insert* yang digunakan, kondisi dari *boring bar* itu sendiri cukup berbeda, dimana pada penelitian simulasi semua elemen tersebut ada pada kondisi yang sempurna dan pengujian dilakukan tanpa adanya gangguan eksternal. Sementara pada penelitian eksperimen banyak sekali faktor eksternal yang membuat hasil respon getaran pada pengujian memiliki nilai yang berbeda dengan penelitian simulasi.

Sebuah penelitian yang dilakukan oleh Nugraha Merdekawan (2020) berjudul “Pemodelan dan Analisis Respon Getaran *Boring Bar* pada *Internal Turning* Akibat Pengaruh Variasi Jumlah dan Jenis Karet DVA pada Gaya Pemotongan Tipikal *Finishing*”. Pada penelitian tersebut dilakukan analisis respon getaran pada *boring bar* yang diberi DVA dengan variabel kekakuan *absorber* di berbagai kondisi pemotongan tipikal *finishing* yang disimulasikan menggunakan *software ANSYS Workbench modal* dan *harmonic response analysis*.



Gambar 2.12 Illustration of Boring Bar Installation on Clamp and DVA with Mass Ring Variations (Merdekawan, 2020)

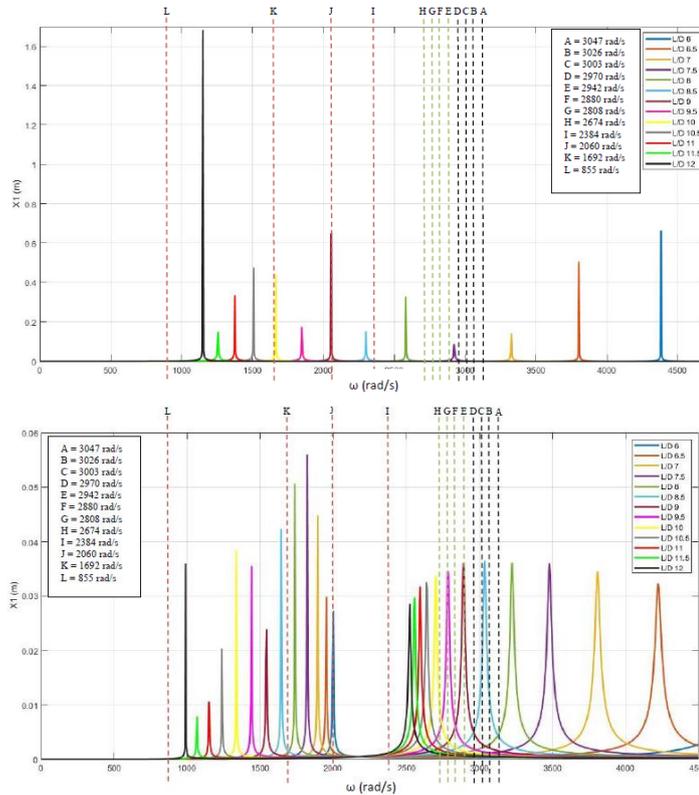
Penelitian ini merancang mekanisme DVA yang berbahan *neophrene* dan *natural rubber* untuk mereduksi getaran pada *boring bar*. Jenis dan jumlah karet divariasikan dari 2 hingga 8 yang sudah diberi pengurangan diameter pada bagian depan. Kemudian didapatkan hasil bahwa *customized boring bar* dengan 8 *natural rubber* DVA merupakan desain *boring bar* dengan daerah operasi stabil paling luas. Selain itu juga, disimpulkan bahwa jumlah dan jenis karet sangatlah memengaruhi *dynamic response* dari *boring bar*.



Gambar 2.13 45 Cutting Parameters on Stable Zone 4 Boring Bar Design (Merdekawan, 2020)

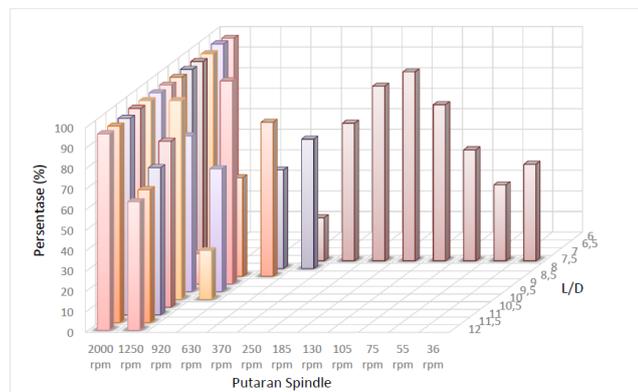
Berdasarkan gambar di atas, didapatkan bahwasannya *customized boring bar* dengan DVA terbagi menjadi 3 daerah stabil, sedangkan *boring bar* tanpa DVA hanya terbagi menjadi 2 daerah stabil. Semakin banyak karet DVA terpasang pada *boring bar* maka daerah stabil baru respon gerak *boring bar* akan semakin berada pada frekuensi operasional yang tinggi, namun juga dapat mampu stabil pada *cutting force* yang lebih besar. Berbeda dengan respon gerak *mass ring*, semakin banyak karet DVA terpasang maka daerah stabil baru respon gerak *mass ring* akan semakin tidak stabil pada *cutting force* yang tinggi.

Pada tahun berikutnya, penelitian yang berjudul “Pemodelan dan Analisis Nilai Optimum Reduksi Getaran *Boring Bar* pada Proses Permesinan (*Lathe Machine*) Akibat Pemasangan DVA dengan Variasi Dimensi *Boring Bar* dan Putaran *Spindle*” dilakukan oleh Vito Hanif Addinuri (2021) dengan menggunakan *software* MATLAB. Penelitian ini terkait pengaruh respon getaran sistem utama dengan variasi dimensi L/D_0 *boring bar* dari rentang 6-12 (interval 0,5) dan kecepatan putaran *spindle* mulai dari 36 rpm hingga 2000 rpm.



Gambar 2.14 Main System's Bode Diagram (a) Without DVA and (b) With DVA (Addinuri, 2021)

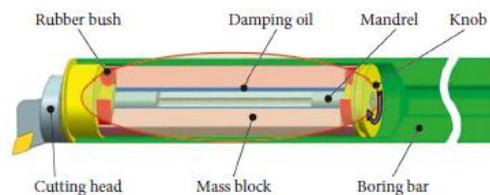
Berdasarkan gambar 2.14 di atas, dapat dilihat bahwa *bode diagram* sistem utama setelah ditambahkan DVA menjadi memiliki dua amplitudo yang berarti memiliki dua frekuensi natural.



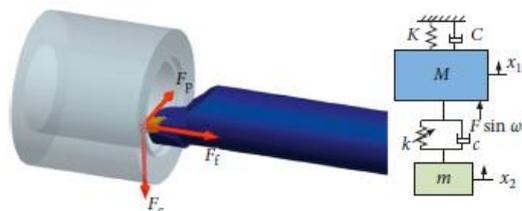
Gambar 2.15 Graph of The Effect of DVA in Reducing The Main System Vibration Response to The Reduced Variation (Addinuri, 2021)

Berdasarkan hasil reduksi respon getaran sistem utama pada variasi putaran *spindle*, didapatkan bahwa DVA bekerja stabil dalam mereduksi respon getaran *boring bar* pada dimensi L/D 7,5 pada hampir semua variasi putaran *spindle*. Selain itu, didapatkan pula hasil bahwa DVA bekerja paling optimal dalam mereduksi respon getaran *boring bar* pada L/D 9 saat putaran *spindle* 920 rpm, dengan reduksi sebesar 99%. Gambar grafik 2.15 di atas menunjukkan bahwa semakin besar L/D sistem utama, maka semakin rendah frekuensi naturalnya, sehingga semakin tinggi putaran *spindle* yang dibutuhkan untuk menghasilkan frekuensi *chatter* yang besarnya sama/mendekati dengan frekuensi natural, dimana semakin besar putaran *spindle* artinya semakin kecil frekuensi *chatter* yang dihasilkan, dan ini membuktikan teori bahwa DVA bekerja dengan baik bila dipasangkan pada sistem utama yang dioperasikan pada frekuensi naturalnya.

Sekelompok peneliti Li et al. (2019) melakukan penelitian berjudul “*Analysis of The Vibration Characteristics of a Boring Bar with a Variable Stiffness Dynamic Vibration Absorber*”. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui proses peredaman getaran pada mesin *boring* yang dipasangkan DVA dengan variasi kekakuan dari DVA tersebut, serta menguji proses peredaman ketika adanya perubahan frekuensi eksitasi dengan merubah kecepatan putaran *spindle*. Ilustrasi dan model dinamis dari penelitian ini yaitu seperti gambar di bawah ini.

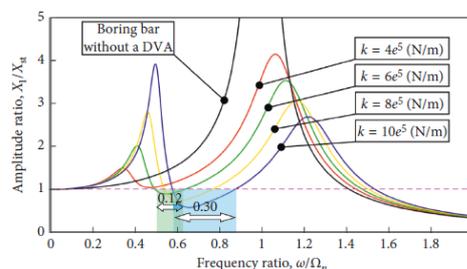


Gambar 2.16 Illustration of Boring Bar Structure with Variable Stiffness DVA (Li et al., 2019)



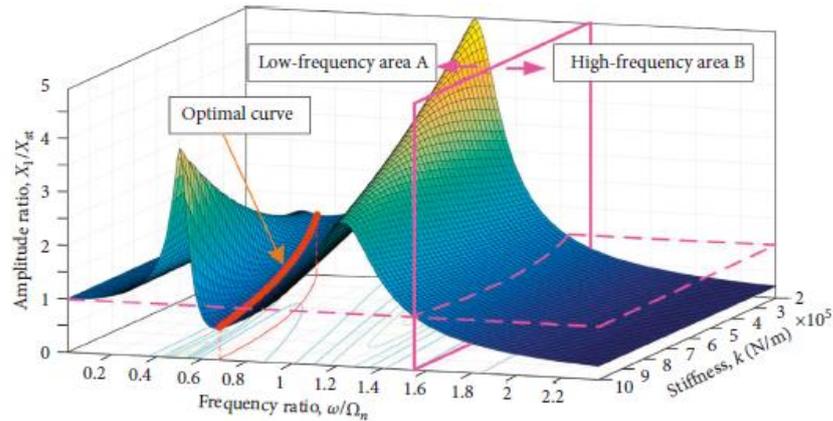
Gambar 2.17 Boring Bar Dynamic Modeling with Variable Stiffness DVA (Li et al., 2019)

Sistem di atas terdiri dari sistem utama (*boring bar*) dan sistem tambahan (DVA) seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.16 dan 2.17, dimana sistem tambahan diharapkan dapat menurunkan amplitudo dari sistem utama akibat proses permesinan.



Gambar 2.18 Comparison Graph of Boring Bar Amplitude Ratio to Frequency Ratio with Variation in Stiffness DVA (Li et al., 2019)

Berdasarkan gambar grafik 2.18 di atas, dapat dilihat bahwa DVA berhasil meredam getaran pada sistem utama. Pada grafik tersebut pula dapat dilihat bahwa semakin besar nilai kekakuan dari DVA, maka semakin rendah rasio amplitudo pada rasio frekuensi 1, yang artinya semakin besar nilai kekakuan DVA, semakin besar juga peredaman pada sistem utama. Sehingga dapat diketahui bahwa rentang frekuensi antara dua puncak di mana *boring bar* dapat memotong secara stabil diperluas. Secara umum, kekakuan variabel DVA meningkatkan stabilitas *boring bar*, dan melalui pemilihan kekakuan yang berbeda, *boring bar* dapat disesuaikan dengan frekuensi eksitasi yang berbeda.



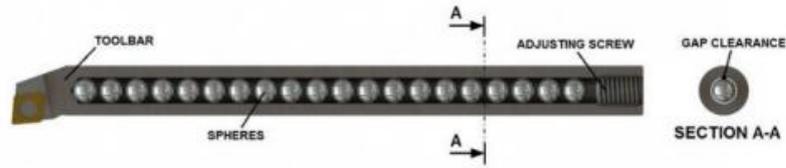
Gambar 2.19 3D Image of Amplitude Ratio Under Effect of Frequency Ratio and Stiffness (Li et al., 2019)

Gambar 2.19 di atas menunjukkan bahwa seluruh area dibagi menjadi dua bagian, yaitu area frekuensi rendah A dan area frekuensi tinggi B (garis pemisah terletak pada rasio frekuensi kira-kira 1,55). Oleh karena itu, di daerah frekuensi rendah, parameter pemotongan *boring bar* harus dipilih sedekat mungkin dengan kurva optimal.

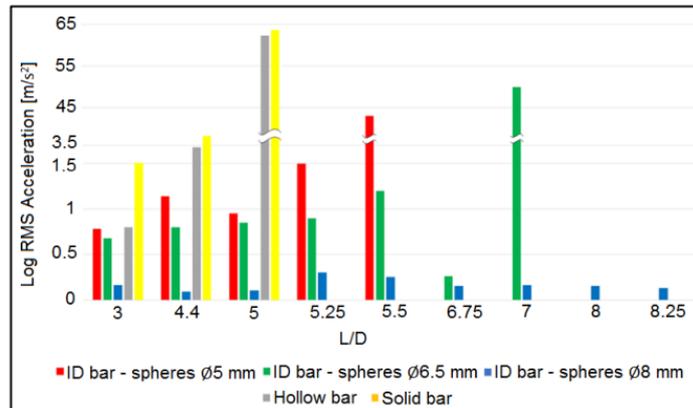
Lalu peneliti Thomas et al. (2019) melakukan penelitian mengenai pengaruh *damper* dengan bentuk baru terhadap permesinan pada proses *internal turning* yang berjudul “A New Type of Impact Damper With Long Overhangs in The Internal Turning of Hardened Materials”. Dilakukan variasi berupa variasi panjang / diameter (L/D), variasi *feed rate*, dan variasi *cutting speed*. Didapatkan hasil berupa kekasaran yang didapat, getaran *tools*, dan *tools lives* pada *boring bar*.

Condition	Tool overhang with Solid bar (L) [mm]	Tool overhang with ID bar (L) [mm]	Feed rate (f) [mm/rev]	Cutting speed (vc) [m/min]
C1			0.08	360
C2	70	128		300
C3			0.06	360
C4				300

Gambar 2.20 Table of Cutting Conditions for Tool Life (Thomas et al., 2019)



Gambar 2.21 *Toolbar with Its Cavity Filled with Spheres*

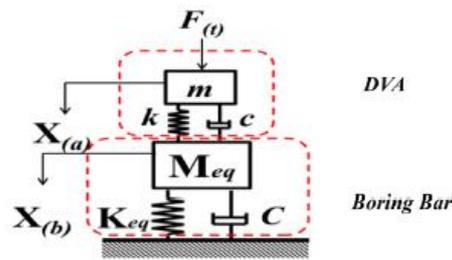


Gambar 2.22 *Vibration on Tools for All Types of Boring Bar* (Thomas et al., 2019)

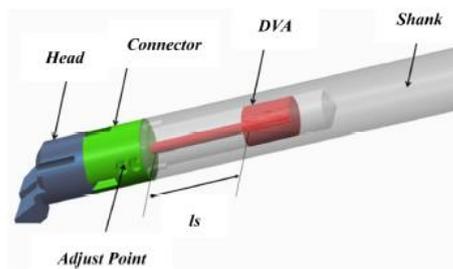
Pemotongan dilakukan dengan memvariasikan *speed* (V), *feed rate* (f), dan *depth of cut* (d) sebesar 0,2 dengan 2 kali pengambilan data. Dapat disimpulkan bahwa saat *overhang* pahat meningkat, kekasaran pada permukaan benda kerja dan getaran pahat hampir konstan hingga titik dimana mereka meningkat secara tiba-tiba (batas stabilitas). Getaran pada alat lebih kecil menggunakan massa berbentuk bola dibandingkan dengan massa berbentuk batang walaupun ketika pemotongan dalam kondisi stabil dan memungkinkan proses permesinan lebih lama pada proses pelubangan benda kerja yang lebih dalam.

Dapat disimpulkan bahwa menggunakan peredam dengan massa berbentuk bola dalam segi peredaman getaran serta dalam proses pemotongan memiliki stabilitas dan kekakuan lebih baik dari pada menggunakan peredam dengan massa yang berbentuk batang. Dengan menggunakan massa berbentuk bola mampu menjaga *boring bar* agar tidak terkena dampak yang berlebihan saat melakukan proses pemotongan pada lubang yang lebih dalam.

Kemudian, peneliti Hong et al. (2017) melakukan penelitian berjudul “*A Study on the Design Model of Passive Tunable Damped Boring Bar*”. Penelitian ini melakukan simulasi menggunakan *software* ANSYS. Pada penelitian ini model *tunable damping bar* diperlukan untuk menekan getaran karena adanya variasi berbagai *overhang*. Karakteristik dinamis dari *boring bar* tersebut kemudian dianalisis dengan model matematis berdasarkan teori Euler. Hasil analisis dibandingkan dengan hasil simulasi program CAE (ANSYS *Workbench*) untuk validasi. Selain itu, tes eksitasi impulsif dilakukan untuk memverifikasi efek redaman dari berbagai *overhang* dengan DVA yang dimasukkan ke dalam *boring bar*. Berikut merupakan diagram skematik dari *passive control system* yang ditunjukkan di gambar bawah ini.



Gambar 2.23 Schematic Diagram of Passive Control System (Hong et al., 2017)



Gambar 2.24 Design of Tunable Damped Boring Bar (Hong et al., 2017)

Dalam penelitiannya, *body* dimodelkan dengan 5 node dan 4 elemen balok untuk mendapatkan massa dan kekakuan dari *body tunable damped boring bar* yang dapat disetel. *Overhang* disesuaikan dari 7D ke 12D dalam interval 1D. Enam mode dianalisis, tetapi hanya hasil mode pertama yang disajikan dalam makalah ini karena mode ini mewakili gaya utama yang paling erat hubungannya dengan getaran. Setelah pengujian dilakukan, didapatkan perbedaan frekuensi natural antara analisis teoritis dan simulasi CAE untuk berbagai *overhang* adalah sekitar 7%, sedangkan antara analisis teoritis dan hasil pengujian adalah sekitar 6% seperti gambar 2.24 di bawah ini.

Boring bar overhang L (mm)	Natural frequency of boring bar body		
	Theoretical analysis (Hz)	CAE analysis (Hz)	Experiment (Hz)
7d (175)	538.26	582.76	520
8d (200)	431.21	465.91	420
9d (225)	351.31	378.31	340
10d (250)	290.77	309.25	270
11d (275)	244.06	260.71	230
12d (300)	207.40	220.81	195

Gambar 2.25 Table of Comparison of Theoretical Natural Frequency with Test Results on Boring Bar (Hong et al., 2017)

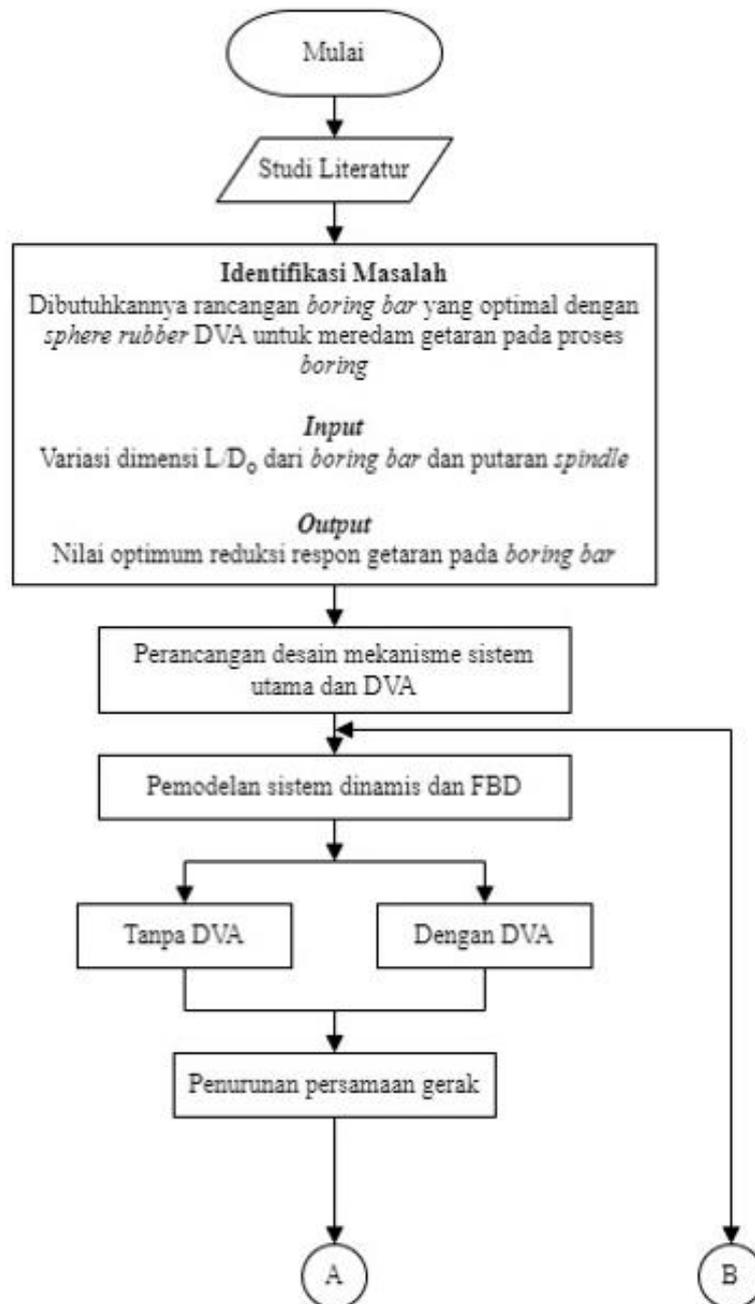
Berdasarkan analisis, panjang pegas dari desain DVA yang dirancang menunjukkan ketidakakuratan sekitar 8% dibandingkan dengan pengukuran. Berdasarkan analisis dan simulasi, penyesuaian panjang pegas DVA untuk *overhang* yang diberikan mampu dioperasikan pada frekuensi yang sesuai. Berdasarkan uji pemotongan, kekasaran permukaan

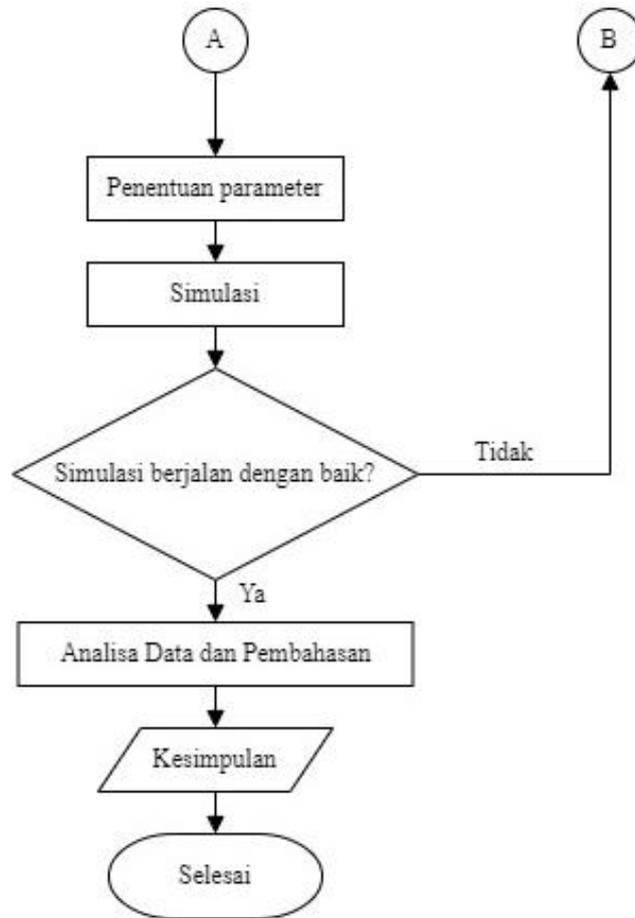
benda kerja menunjukkan bahwa efek peningkatan dengan nilai maksimum 50,9% pada posisi 11D dan lebih dari 50% di semua posisi. Selain itu, pada penelitian ini juga didapatkan hasil *tuning test* antara 7D ke 12D pada interval 1D menunjukkan getaran dapat teredam lebih dari 50% di seluruh rentang, dengan efek maksimum 73,8% yaitu pada 9D.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian adalah sebuah upaya sistematis yang dilakukan dalam memecahkan masalah yang sedang diteliti. Skema yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1.





Gambar 3.1 *Research Flowchart*

3.2 Penjelasan Tahap Penelitian

Berikut ini merupakan penjelasan dari *flowchart* penelitian seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1 di atas.

3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan tujuan mendapatkan informasi yang lebih mendalam serta menunjang penelitian yang akan dilakukan. Studi literatur yang pertama kali dilakukan yaitu mencari referensi mengenai *lathe engine*, *boring bar*, *multi degree of freedom*, dan *Dynamic Vibration Absorber (DVA)*. Referensi mengenai DVA juga lebih terfokus pada penerapannya di mesin perkakas. Berbagai sumber tersebut didapatkan dari buku, tugas akhir, dan jurnal internasional.

3.2.2 Identifikasi Masalah

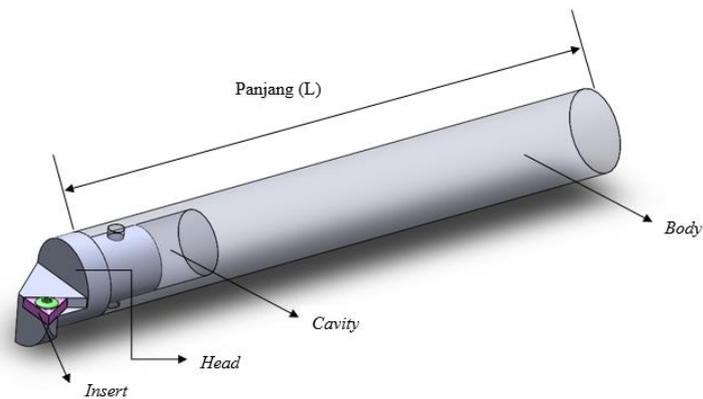
Masalah yang diidentifikasi pada penelitian ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu *input* dan *output*. *Input* merupakan suatu masukan yang diberikan pada penelitian ini, yaitu berupa variasi dimensi *boring bar* dan variasi kecepatan putaran *spindle* pada benda kerja. Sedangkan *output* merupakan hasil yang didapatkan dalam penelitian ini, yaitu berupa nilai optimum reduksi respon getaran sistem utama terhadap *sphere rubber* DVA berdasarkan variasi yang ada.

3.2.3 Perancangan Mekanisme Sistem Utama (Boring Bar) dan DVA

Berikut merupakan penjelasan dari mekanisme sistem utama *boring bar* dan DVA yang digunakan.

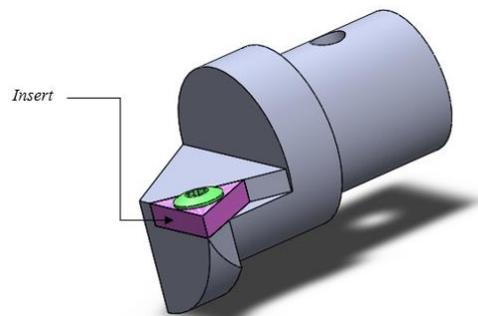
3.2.3.1 Perancangan Mekanisme Sistem Utama (Boring Bar)

Pada penelitian ini, sistem utama yang digunakan yaitu *boring bar*, dimana pangkal dari *boring bar* tersebut akan dipasang pada *clamp* dan ujung yang lainnya akan menerima gaya eksitasi akibat putaran *spindle* benda kerja. *Boring bar* memiliki variasi panjang yang terdiri dari 192 mm, 208 mm, 224 mm, 240 mm, 256 mm, 272 mm, 288 mm, 304 mm, 320 mm, 336 mm, 352 mm, 368 mm, dan 384 mm, dengan diameter 32 mm. *Boring bar* terdiri dari *body*, *head*, dan *insert* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Boring Bar Design

Ujung *body boring bar* dipasang *head* sebagai tempat untuk mata pisau (*insert*) dan pada bagian belakang *head* akan terhubung dengan DVA. *Head* memiliki panjang 55 mm dan diameter yang menyesuaikan diameter *boring bar* dengan terdapat lubang sebagai tempat peletakan insert seperti pada gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3 Head on Boring Bar

Insert yang terpasang pada ujung *head* berfungsi sebagai pengikis benda kerja dan penerima gaya eksitasi akibat putaran *spindle* dari benda kerja. Benda kerja yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon tipe AISI

1045 dengan sifat mekanik yang tergolong keras. *Insert* dipasang pada ujung *head* dan sebagai penghubung antara *head* dan *insert*, digunakan baut seperti yang terlihat pada gambar 3.4.



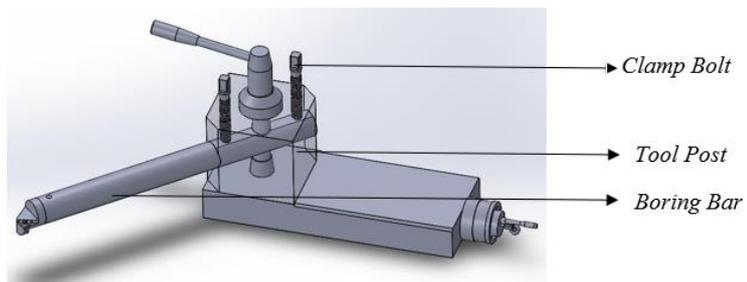
Gambar 3.4 (a) *Insert* (b) *Bolt*

Di dalam *body boring bar* terdapat lubang (*cavity*) sebagai tempat peletakan DVA. Perancangan lubang (*cavity*) disesuaikan dengan ukuran *housing* sebagai tempat peletakan *sphere rubber* DVA sehingga didapatkan *boring bar* dengan *cavity* seperti gambar 3.5 di bawah ini.



Gambar 3.5 *The Main System without DVA*

Setelah mengetahui rancangan sistem utama, selanjutnya yaitu perlu mengetahui posisi peletakan sistem utama pada mesin bubut atau biasa disebut *clamp* seperti gambar 3.6.

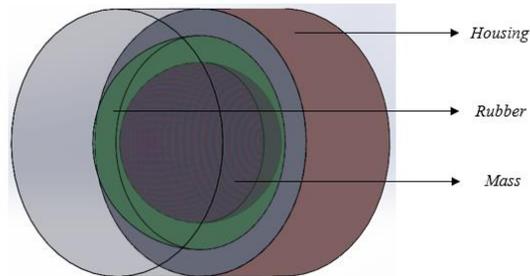


Gambar 3.6 *Boring Bar on Lathe Machine*

3.2.3.2 Perancangan Mekanisme DVA

Pada penelitian ini, dirancang mekanisme *Dynamic Vibration Absorber* (DVA) untuk meredam getaran berlebih pada *boring bar*. DVA yang digunakan terdiri massa *absorber* berupa *spherical*, kekakuan *absorber* berupa karet DVA yang menyelubungi massa *spherical*, dan *housing* sebagai tempat peletakan massa dan karet seperti pada gambar 3.7. Massa *spherical* terbuat dari *bearing*

steel sedangkan kekakuan *absorber* terbuat dari karet. Arah pergerakan DVA jenis ini sama dengan pergerakan terbesar dari sistem utama yaitu arah radial namun berlawanan arah. DVA dipasang didalam pahat yang telah diberi *cavity* pada bagian depan *boring bar*, dimana *boring bar* akan menerima gaya eksitasi dari gesekan antara benda kerja yang berputar dengan pisau pahat pada *boring bar*, sehingga memberi gaya eksitasi secara kontinyu.



Gambar 3.7 *Dynamic Vibration Absorber*

Setelah dilakukan perancangan DVA pada sistem utama, susunan sistem menjadi seperti pada gambar 3.8 di bawah ini.



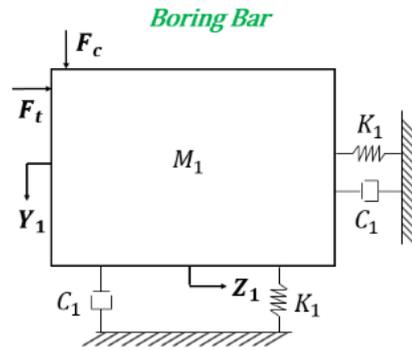
Gambar 3.8 *Main System Arrangement with DVA*

3.2.4 Pemodelan Sistem Dinamis

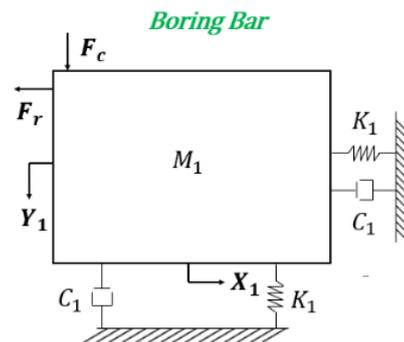
Pemodelan sistem dinamis merupakan pemodelan yang dilakukan untuk mempermudah penentuan *Free Body Diagram* (FBD) untuk analisis model dinamis dari sistem utama tanpa DVA dan sistem utama dengan DVA.

3.2.4.1 Sistem Utama Tanpa Dynamic Vibration Absorber (DVA)

Pemodelan sistem dinamis berikut ini merupakan sistem utama tanpa penambahan DVA. Pemodelan dinamis tersebut didasari dengan 2 tampak (samping dan depan) agar dapat meninjau gaya-gaya yang ada. Pada saat proses bubut berlangsung, sistem utama mendapatkan gaya eksitasi (F_m) yang merupakan resultan dari *thrust force* (F_t) arah sumbu Z, *cutting force* (F_c) arah sumbu Y, dan *radial force* (F_r) arah sumbu X yang berupa gesekan antara mata pisau dan penampang benda kerja. Selain itu, model dinamis yang dibuat disesuaikan dengan model fisik atau kondisi *real* mesin bubut dengan memberikan kekakuan (K_1) dan redaman (C_1). Dimana kekakuan dan redaman tersebut digambarkan pada bagian bawah dan sebelah kanan yang menggambarkan bahwa mesin bubut sedang berada pada kondisi dicekam oleh *clamp* pada sebagian *body boring bar* dan penampang belakang *boring bar*.



Gambar 3.9 Main System Dynamic Modeling Without DVA on Y and Z axis



Gambar 3.10 Main System Dynamic Modeling Without DVA on Y and X axis

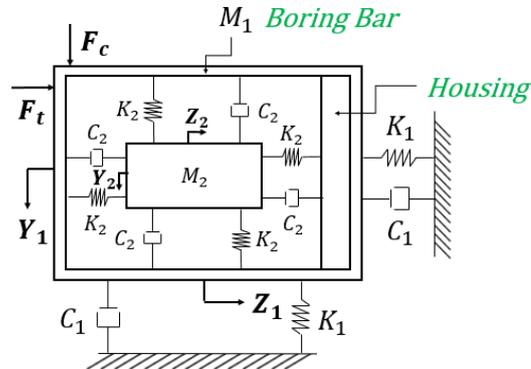
Keterangan:

- M_1 = Massa sistem utama
- K_1 = Konstanta kekakuan sistem utama
- C_1 = Konstanta redaman sistem utama
- Y_1 = Perpindahan massa sistem utama arah sumbu Y
- X_1 = Perpindahan massa sistem utama arah sumbu X (tampak depan)
- Z_1 = Perpindahan massa sistem utama arah sumbu Z (tampak samping)
- F_c = *Cutting Force*
- F_t = *Thrust Force*
- F_r = *Radial Force*

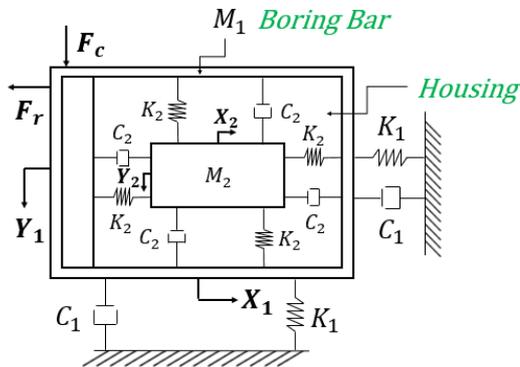
3.2.4.2 Sistem Utama dengan Penambahan *Dynamic Vibration Absorber* (DVA)

Pada gambar di bawah ini merupakan pemodelan sistem dinamis pada sistem utama dengan penambahan *Dynamic Vibration Absorber* (DVA). Sama seperti model dinamis tanpa DVA, pemodelan dinamis tersebut juga didasari dengan 2 tampak (samping dan depan) agar dapat meninjau gaya-gaya yang ada. Pada saat proses bubut berlangsung, sistem utama mendapatkan gaya eksitasi (F_m) yang merupakan resultan dari *thrust force* (F_t) arah sumbu Z, *cutting force* (F_c) arah sumbu Y, dan *radial force* (F_r) arah sumbu X yang berupa gesekan antara mata pisau dan penampang benda kerja. Selain itu, model dinamis yang dibuat disesuaikan dengan model fisik atau kondisi *real* mesin bubut dengan memberikan kekakuan *boring bar* (K_1) dan redaman *boring bar* (C_1). Dimana kekakuan dan redaman tersebut digambarkan pada bagian bawah dan sebelah kanan yang menggambarkan bahwa mesin bubut sedang berada pada kondisi dicekam oleh *clamp* pada sebagian *body boring bar* dan penampang belakang

boring bar. Selain itu, terdapat kekakuan karet DVA (K_2) dan redaman karet DVA (C_2) yang mengelilingi *spherical mass* DVA (M_2) dimana menggambarkan bahwa sistem DVA berbentuk bola dapat meredam getaran ke segala arah.



Gambar 3.11 Main System Dynamic Modeling with Added DVA on Y and Z axis



Gambar 3.12 Main System Dynamic Modeling with Added DVA on Y and X axis

Keterangan:

- M_1 = Massa sistem utama
- M_2 = Massa DVA
- K_1 = Konstanta kekakuan sistem utama
- K_2 = Konstanta kekakuan DVA
- C_1 = Konstanta redaman sistem utama
- C_2 = Konstanta redaman DVA
- Y_1 = Perpindahan massa sistem utama arah sumbu Y
- Y_2 = Perpindahan massa DVA arah sumbu Y
- X_1 = Perpindahan massa sistem utama arah sumbu X (tampak depan)
- X_2 = Perpindahan massa DVA arah sumbu X (tampak depan)
- Z_1 = Perpindahan massa sistem utama arah sumbu Z (tampak samping)
- Z_2 = Perpindahan DVA arah sumbu Z (tampak samping)
- F_c = *Cutting Force*
- F_t = *Thrust Force*
- F_r = *Radial Force*

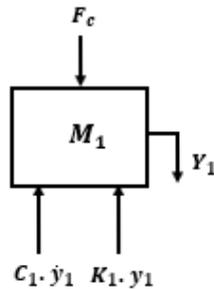
3.2.5 Penurunan Persamaan Gerak

Berdasarkan model dinamis yang telah dibuat pada sub bab sebelumnya, maka selanjutnya dapat menentukan *free body diagram* (FBD) dari sistem utama tanpa DVA

dan sistem utama dengan penambahan DVA. Kemudian, *free body diagram* tersebut dapat digunakan untuk menentukan persamaan gerak.

3.2.5.1 Sistem Utama Tanpa Dynamic Vibration Absorber (DVA)

Berikut pada gambar di bawah ini merupakan gambar *free body diagram* (FBD) dari sistem utama tanpa adanya penambahan *Dynamic Vibration Absorber* (DVA).

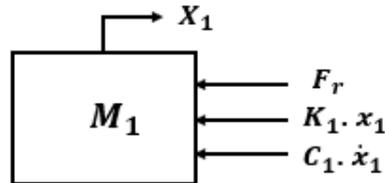


Gambar 3.13 *Free Body Diagram of Main System Without DVA on Y-axis*

Berdasarkan *free body diagram* pada gambar 3.13 di atas, maka didapatkan persamaan gerak sebagai berikut ini.

$$+\downarrow \sum F = M a \quad (3.1)$$

$$M_1 \ddot{y}_1 + C_1 \dot{y}_1 + K_1 y_1 = F_c \quad (3.2)$$



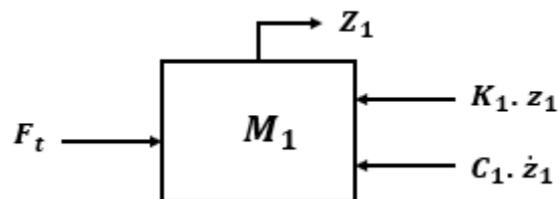
Gambar 3.14 *Free Body Diagram of Main System Without DVA on X-axis*

Berdasarkan *free body diagram* pada gambar 3.14 di atas, maka didapatkan persamaan gerak sebagai berikut ini.

$$+\leftarrow \sum F = M a \quad (3.3)$$

$$K_1 x_1 + C_1 \dot{x}_1 + F_r = -M_1 \ddot{x}_1 \quad (3.4)$$

$$M_1 \ddot{x}_1 + C_1 \dot{x}_1 + K_1 x_1 = -F_r \quad (3.5)$$



Gambar 3.15 *Free Body Diagram of Main System Without DVA on Z-axis*

Berdasarkan *free body diagram* pada gambar 3.15 di atas, maka didapatkan persamaan gerak sebagai berikut ini.

$$+\leftarrow \sum F = M a \quad (3.6)$$

$$K_1 z_1 + C_1 \dot{z}_1 - F_t = -M_1 \ddot{z}_1 \quad (3.7)$$

$$M_1 \ddot{z}_1 + C_1 \dot{z}_1 + K_1 z_1 = F_t \quad (3.8)$$

Dimana terdapat getaran yang diakibatkan oleh *cutting force* (F_c), *radial force* (F_r), dan *thrust force* (F_t). Maka dari itu, gaya eksitasi dapat dinyatakan sebagai berikut ini.

$$F_m = \vec{F}_c + \vec{F}_r + \vec{F}_t \quad (3.9)$$

Untuk simulasi, menggunakan gaya eksitasi:

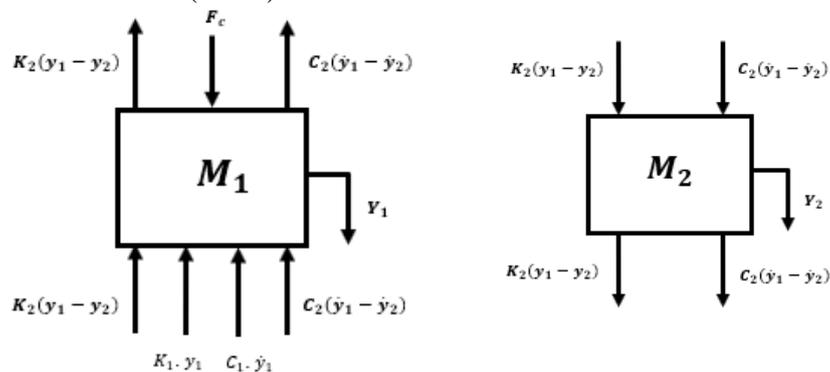
$$F_m(t) = F_m \sin \omega t \quad (3.10)$$

Dengan substitusi, persamaan gerak menjadi:

$$m|\ddot{x}| + c|\dot{x}| + k|x| = F_m \sin \omega t \quad (3.11)$$

3.2.5.2 Sistem Utama dengan Penambahan *Dynamic Vibration Absorber* (DVA)

Berikut pada gambar di bawah ini merupakan gambar *free body diagram* (FBD) dari sistem utama dengan adanya penambahan *Dynamic Vibration Absorber* (DVA).



Gambar 3.16 *Free Body Diagram of Main System with DVA on Y-axis*

Berdasarkan *free body diagram* pada gambar 3.16 di atas, maka didapatkan persamaan gerak sebagai berikut ini.

$$+\downarrow \sum F = M a \quad (3.12)$$

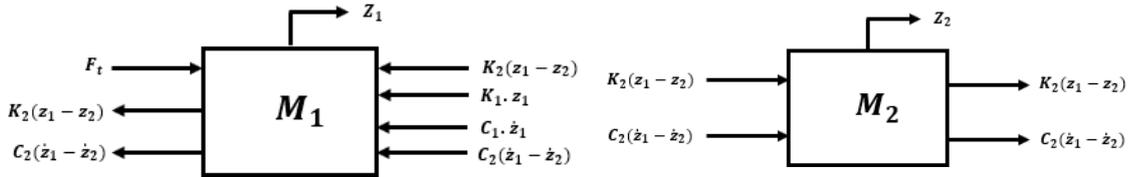
$$-2K_2(y_1 - y_2) - 2C_2(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) - K_1 y_1 - C_1 \dot{y}_1 + F_c = M_1 \ddot{y}_1 \quad (3.13)$$

$$M_1\ddot{y}_1 + C_1\dot{y}_1 + K_1y_1 + 2C_2(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) + 2K_2(y_1 - y_2) = F_c \quad (3.14)$$

$$+\downarrow \sum F = M a \quad (3.15)$$

$$2K_2(y_1 - y_2) + 2C_2(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) = M_2\ddot{y}_2 \quad (3.16)$$

$$M_2\ddot{y}_2 - 2C_2(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) - 2K_2(y_1 - y_2) = 0 \quad (3.17)$$



Gambar 3.17 Free Body Diagram of Main System with DVA on Z-axis

Berdasarkan *free body diagram* pada gambar 3.17 di atas, maka didapatkan persamaan gerak sebagai berikut ini.

$$+\rightarrow \sum F = M a \quad (3.18)$$

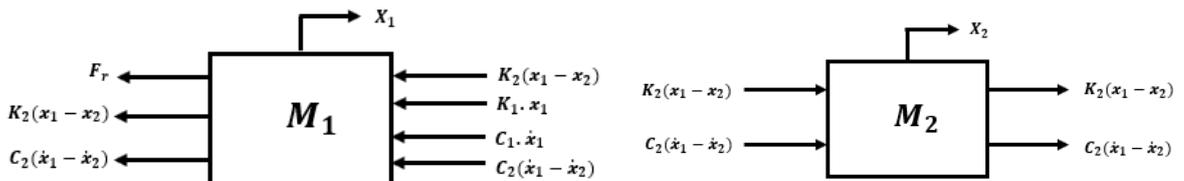
$$-K_1z_1 - C_1\dot{z}_1 - 2K_2(z_1 - z_2) - 2C_2(\dot{z}_1 - \dot{z}_2) + F_t = M_1\ddot{z}_1 \quad (3.19)$$

$$M_1\ddot{z}_1 + C_1\dot{z}_1 + K_1z_1 + 2C_2(\dot{z}_1 - \dot{z}_2) + 2K_2(z_1 - z_2) = F_t \quad (3.20)$$

$$+\rightarrow \sum F = M a \quad (3.21)$$

$$2K_2(z_1 - z_2) + 2C_2(\dot{z}_1 - \dot{z}_2) = M_2\ddot{z}_2 \quad (3.22)$$

$$M_2\ddot{z}_2 - 2C_2(\dot{z}_1 - \dot{z}_2) - 2K_2(z_1 - z_2) = 0 \quad (3.23)$$



Gambar 3.18 Free Body Diagram of Main System with DVA on X-axis

Berdasarkan *free body diagram* pada gambar 3.18 di atas, maka didapatkan persamaan gerak sebagai berikut ini.

$$+\rightarrow \sum F = M a \quad (3.24)$$

$$-K_1x_1 - C_1\dot{x}_1 - 2K_2(x_1 - x_2) - 2C_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - F_r = M_1\ddot{x}_1 \quad (3.25)$$

$$M_1\ddot{x}_1 + C_1\dot{x}_1 + K_1x_1 + 2C_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + 2K_2(x_1 - x_2) = -F_r \quad (3.26)$$

$$+\rightarrow \sum F = M a \quad (3.27)$$

$$2K_2(x_1 - x_2) + 2C_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) = M_2\ddot{x}_2 \quad (3.28)$$

$$M_2\ddot{x}_2 - 2C_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - 2K_2(x_1 - x_2) = 0 \quad (3.29)$$

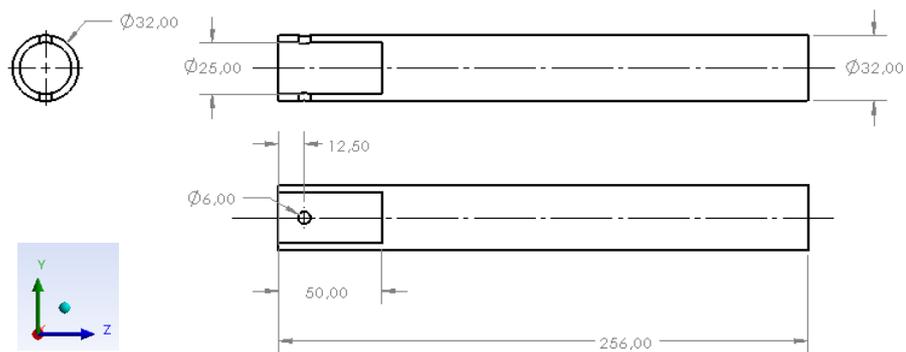
3.2.6 Perancangan Desain

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai komponen-komponen penyusun dari sistem massa utama dan *Dynamic Vibration Absorber (DVA)* yang telah dirancang sebagai berikut.

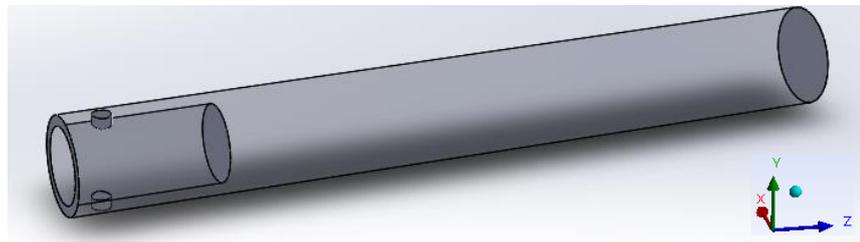
3.2.6.1 Sistem Utama

Sistem utama yang dianalisis pada penelitian ini adalah *boring bar* yang terdiri dari beberapa bagian yaitu antara lain adalah *body*, *head*, dan *insert*.

Body, pada bagian ini merupakan bagian utama yang menjadi permasalahan dalam penelitian ini. Pada kesempatan ini akan meneliti penggunaan *boring bar* yang mampu stabil pada pengeboran dengan rasio L/D *overhang* 6 hingga 12 dengan interval 0,5 dengan menggunakan *carbon steel* jenis AISI 1045. Berikut merupakan contoh *body boring bar* dengan rasio L/D *overhang* = 8.



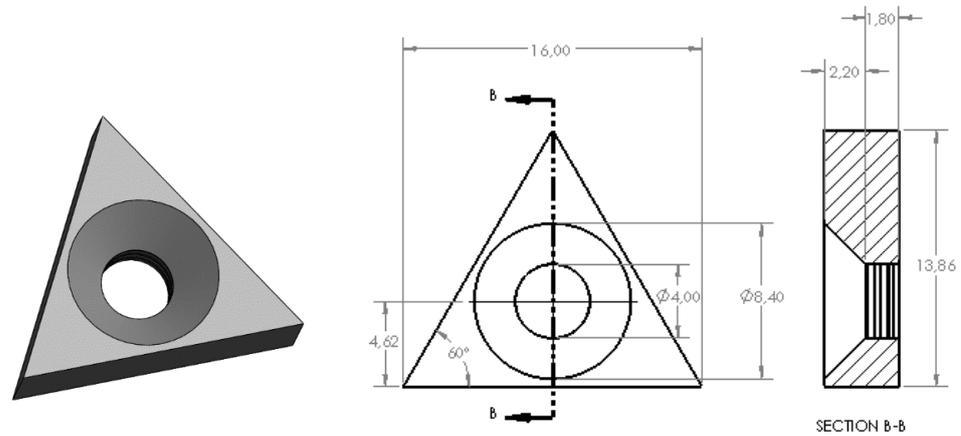
Gambar 3.19 Dimension of Body Boring Bar



Gambar 3.20 Body Boring Bar

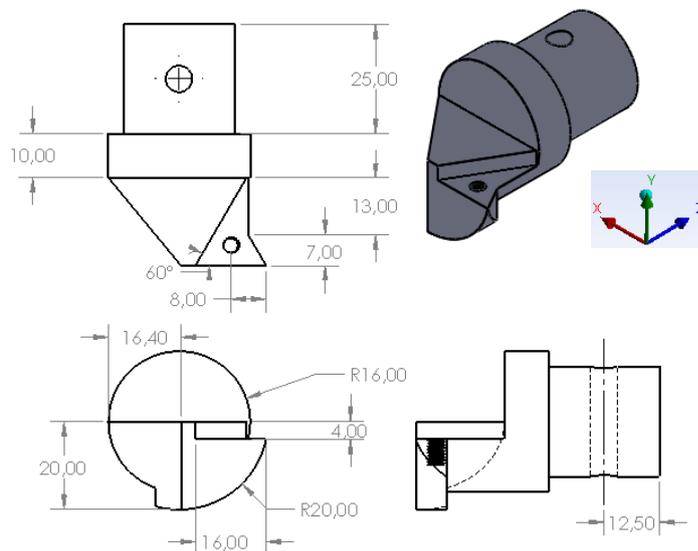
Pada gambar 3.19 dan 3.20 di atas terlihat bahwa *cavity* yang digunakan pada penelitian ini sebesar 50 mm. Menurut salah satu jurnal yang menjadi acuan pada penelitian ini, kekakuan *custom boring bar* tidak boleh kurang dari 95% jika dibandingkan dengan *regular boring bar*. Selain itu, berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya sudah dibuktikan bahwa pengurangan kekakuan *regular boring bar* menjadi *custom boring bar* tidak

lebih dari 5%. Oleh sebab itu, pada penelitian kali ini akan langsung menggunakan *boring bar* yang merupakan *customized boring bar* dengan kekakuan *boring bar* berkurang tidak lebih 5% dari kekakuan *regular boring bar*.

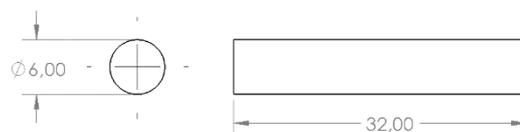


Gambar 3.21 Carbide Insert

Head, pada bagian ini merupakan kepala pahat yang digunakan sebagai tempat terpasangnya *insert*. Material dari *head* ini sama dengan material dari *body* yaitu AISI 1045. *Head* akan terpasang pada bagian depan *body* dengan dikunci oleh *pin*. Gambar dari *head* dan *pin* terdapat pada gambar 3.22 dan 3.23 seperti di bawah ini.



Gambar 3.22 Head



Gambar 3.23 Pin

3.2.6.2 DVA

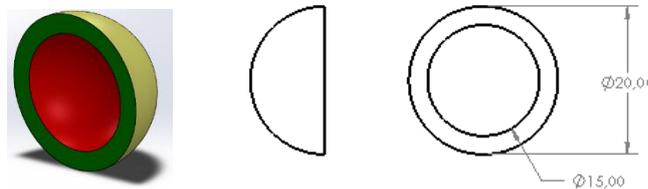
Pada penelitian ini menggunakan *Dynamic Vibration Absorber* (DVA) sebagai media peredam getaran berlebih yang terjadi. Telah dirancang DVA yang mana terdiri dari *mass spherical* dan *rubber*.

Mass spherical, bagian ini terbuat dari *bearing steel* agar mendapatkan massa *absorber* yang mudah didapatkan di pasaran Indonesia dan harganya yang relatif murah. *Mass spherical* ini memiliki diameter sebesar 15 mm berbentuk bola seperti pada gambar 3.24 berikut.



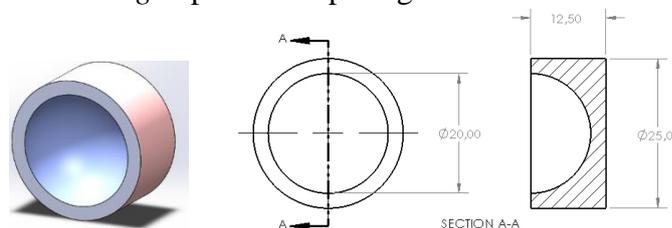
Gambar 3.24 *Mass Spherical*

Rubber, pada bagian ini digunakan karet dengan cara menyelimuti *mass spherical*. Karet ini memiliki 2 jenis material yaitu karet natural dan *neophrene* dimana memiliki modulus young yang dianggap *linier*. Material dipilih berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dengan metode *trial and error* guna mencocokkan frekuensi natural pada DVA pada rentang yang sama dengan frekuensi operasional/*chatter frequency* dari parameter pemotongan yang dipilih. Gambar 3.25 di bawah ini merupakan desain karet yang digunakan.



Gambar 3.25 *Rubber*

Housing, bagian ini digunakan sebagai tempat penempatan *mass spherical* dan *rubber* di dalam *cavity* pada bagian depan *body*. Material yang digunakan untuk *housing* sendiri disamakan dengan material *body* yaitu AISI 1045. Bentuk dari *housing* dapat dilihat pada gambar 3.26.



Gambar 3.26 *Housing*

3.2.7 Penentuan Parameter

Pada penelitian ini dibutuhkan beberapa parameter yang digunakan untuk mengetahui reduksi getaran yang terjadi pada saat proses pengeboran. Parameter yang digunakan pada simulasi proses pengeboran guna mengetahui reduksi getaran yang

terjadi meliputi parameter pemotongan (*cutting parameter*) dari mesin bubut, sistem utama, dan sistem *absorber* (DVA). Berikut merupakan parameter yang akan digunakan pada penelitian ini.

3.2.7.1 Cutting Parameter

Pada proses permesinan, dibutuhkan *cutting parameter* yang sesuai dengan kebutuhan. Pada penelitian ini akan digunakan parameter pemotongan tipikal *finishing*, dimana putaran *spindle* dipilih dengan mempertimbangkan diameter dalam (S) benda kerja yang akan dipotong yakni 0,1 m dan kemampuan putaran *spindle* yang ada pada mesin bubut yang ada di *workshop*, digunakan variasi putaran *spindle* (N) yakni 36 rpm, 55 rpm, 75 rpm, 105 rpm, 130 rpm, 185 rpm, 250 rpm, 370 rpm, 630 rpm, 920 rpm, 1250 rpm, dan 2000 rpm seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.27.



Gambar 3.27 Spindle Rotation Variations on a Lathe Machine

Untuk mendapatkan nilai *cutting speed* (V) dan frekuensi *chatter* (ω_c) yang beragam yang dapat mempengaruhi karakteristik respon getaran sistem, berikut merupakan cara perhitungan *cutting speed* pada penelitian ini, dicontohkan dengan putaran *spindle* 2000 rpm.

$$V = \pi S N$$

$$V = \pi 0,1 \text{ m } 2000 \text{ rpm}$$

$$V = 628 \text{ m/min}$$

Selain *cutting speed*, dibutuhkan parameter *feed rate* (f) yang mana pada penelitian ini bernilai 0,1 mm/rev. Kemudian ditentukan nilai *depth of cut* (d) pada penelitian ini yakni 0,5 mm. Frekuensi *chatter* didapatkan dengan memasukkan parameter (V), (f), dan (d) di atas pada persamaan yang didapatkan dari eksperimen yang dilakukan oleh peneliti terdahulu, sebagaimana pada persamaan berikut.

$$(\omega_c) = 17,0 - 0,566 V + 3971 f + 155 d$$

Dimana:

V = *Cutting speed* (m/min)

f = *Feed rate* (mm/rev)

d = *Depth of cut* (mm)

ω_c = *Chatter frequency* (Hz)

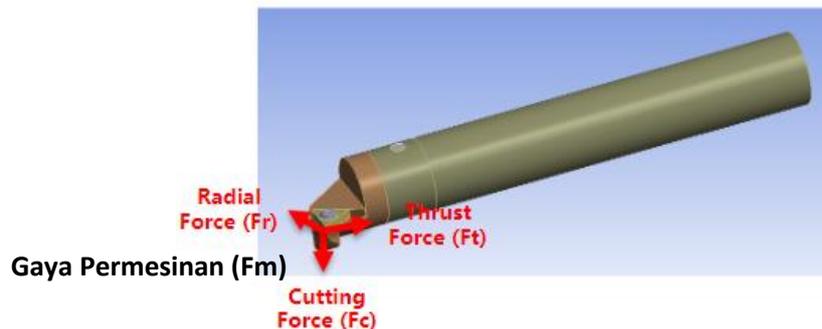
Sehingga,

$$\omega_c = 17,0 - 0,566 (628 \text{ m/min}) + 3971 (0,1 \text{ mm/rev}) + 155 (0,5 \text{ mm})$$

$$\omega_c = 136 \text{ Hz}$$

Nilai frekuensi *chatter* (ω_c) juga dihitung pada variasi putaran *spindle* lainnya, yang tertera pada tabel 3.1.

Gaya yang dianalisis merupakan gaya pada proses permesinan (F_m) yakni terdiri atas *cutting force* (F_c) atau disebut *tangential force*, *radial force* (F_r), dan *thrust force* (F_t) atau biasa disebut juga dengan *feed force*, seperti yang diilustrasikan pada gambar 3.28 di bawah ini.



Gambar 3.28 *Forces in The Cutting Process*

Nilai *cutting force* didapat dari perhitungan, sedangkan nilai *radial force* dan *thrust force* didapat dari hasil pendekatan dengan mengalikan *cutting force* dengan *correction factor* yang didapat dari data penelitian terdahulu, dimana $F_r = 0,69 F_c$ dan $F_t = 0,38 F_c$. *Cutting force* (F_c) didapat dari perkalian antara *specific energy* (E) dengan *feed rate* (f) dan *depth of cut* (d), yang mana nilai E (K_c) didapat dari *technical data ISO 13399 standard* yakni pada $f = 0,1 \text{ mm/rev}$ maka $K_c (E) = 4050 \text{ Mpa}$. Berikut merupakan perhitungan gaya pada permesinan yang akan digunakan dalam penelitian ini.

$$F_{c1} = E d f$$

$$F_{c1} = 4050 \text{ MPa} \times 0,5 \text{ mm} \times 0,1 \text{ mm/rev}$$

$$F_{c1} = 202,5 \text{ N}$$

$$F_{r1} = 0,69 \times 202,5 \text{ N}$$

$$F_{r1} = 139,725 \text{ N}$$

$$F_{t1} = 0,38 \times 202,5 \text{ N}$$

$$F_{t1} = 76,95 \text{ N}$$

Sehingga didapat resultan gaya sebagai gaya pemotongan, sebesar:

$$F_m = \sqrt{F_c^2 + F_r^2 + F_t^2}$$

$$F_m = \sqrt{202,5^2 + 139,725^2 + 76,95^2}$$

$$F_m = 257,78 \text{ N}$$

3.2.7.2 Gaya Eksitasi

Gaya eksitasi yang dianalisis merupakan resultan gaya pada proses permesinan, yakni terdiri dari *cutting force* (F_c) atau *tangential force*, *radial force* (F_r), dan *thrust force* (F_t) atau *axial force*. Pada simulasi dengan menggunakan *Workbench Ansys*, ketiga gaya tersebut merupakan input yang terletak pada ujung vertex pisau pahat, dimana masing-masing gaya didefinisikan menjadi gaya pada arah sumbu x (radial), sumbu y (tangensial), dan sumbu z (axial) seperti yang terlihat pada gambar 3.28 sebelumnya.

Berikut tabel 3.1 merupakan tabel parameter pemotongan, gaya, dan frekuensi eksitasi yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 3.1 *Lathe Machine's Cutting Parameters*

No.	Cutting Parameter						Frekuensi Chatter		Machining Force			
	S (m)	f (mm/rev)	d (mm)	N (rpm)	V (m/min)	Kc (Mpa)	ω_c (Hz)	ω_c (rad/s)	F_t (N)	F_c (N)	F_r (N)	F_m (N)
1.	0,1	0,1	0,5	36	11,304	4050	485	3047	76,95	202,5	139,725	257,78
2.	0,1	0,1	0,5	55	17,27	4050	482	3026	76,95	202,5	139,725	257,78
3.	0,1	0,1	0,5	75	23,55	4050	478	3004	76,95	202,5	139,725	257,78
4.	0,1	0,1	0,5	105	32,97	4050	473	2970	76,95	202,5	139,725	257,78
5.	0,1	0,1	0,5	130	40,82	4050	468	2942	76,95	202,5	139,725	257,78
6.	0,1	0,1	0,5	185	58,09	4050	459	2881	76,95	202,5	139,725	257,78
7.	0,1	0,1	0,5	250	78,5	4050	447	2808	76,95	202,5	139,725	257,78
8.	0,1	0,1	0,5	370	116,18	4050	426	2674	76,95	202,5	139,725	257,78
9.	0,1	0,1	0,5	630	197,82	4050	380	2384	76,95	202,5	139,725	257,78
10.	0,1	0,1	0,5	920	288,88	4050	328	2060	76,95	202,5	139,725	257,78
11.	0,1	0,1	0,5	1250	392,5	4050	269	1692	76,95	202,5	139,725	257,78
12.	0,1	0,1	0,5	2000	628	4050	136	855	76,95	202,5	139,725	257,78

3.2.7.3 Sistem Utama (Boring Bar)

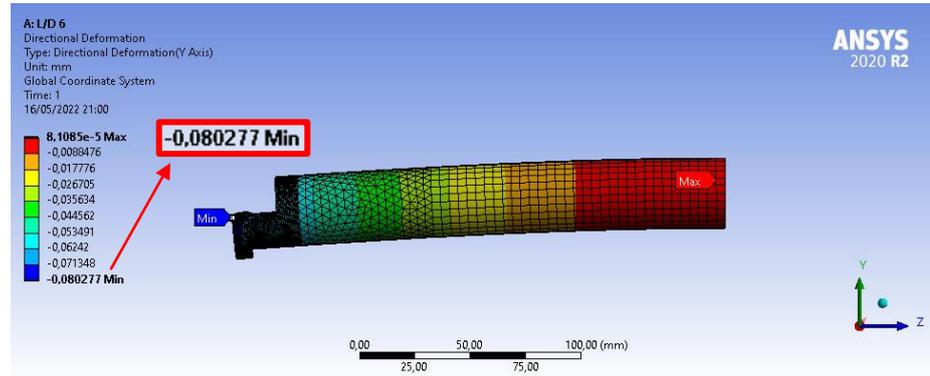
Adapun parameter dari sistem utama (*boring bar*) yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

3.2.7.3.1 Nilai Konstanta Kekakuan Boring Bar (K_1)

Pada penelitian ini, akan dibandingkan nilai konstanta kekakuan *boring bar* menggunakan *cavity* untuk *spherical rubber* DVA dengan nilai konstanta kekakuan *boring bar* menggunakan *cavity* untuk *cantilever beam* DVA.

Nilai konstanta kekakuan ekuivalen *boring bar* dihitung dengan menggunakan simulasi *static structural* pada *software* ANSYS dengan memberikan *fixed support* pada bagian ujung belakang dan gaya terpusat pada bagian ujung depan. Didapatkan hasil deformasi statis maksimal pada ujung *boring bar* yang berbeda pada tiap variasi

panjang L/D *boring bar*. Berikut adalah contoh deformasi yang didapatkan pada L/D 6 yang ditunjukkan pada gambar 3.29.



Gambar 3.29 Directional Deformation (Y-axis) of Boring Bar

Pada *boring bar* dengan panjang 192 mm (L/D = 6), didapatkan deformasi maksimum sebesar 0,080277 mm. Konstanta kekakuan ekuivalen *boring bar* didapat dengan persamaan:

$$K_{1a} = F/X_{1a}$$

$$K_{1a} = 257,78 \text{ N} / 0,000080277 \text{ m}$$

$$K_{1a} = 3211131 \text{ N/m}$$

Sehingga, didapatkan hasil perhitungan nilai konstanta kekakuan *boring bar* yang telah terlampir pada tabel berikut ini.

Tabel 3.2 Boring Bar Equivalent Stiffness Constant Value

Konstanta Kekakuan Ekuivalen Boring Bar						
No.	Symbol	L/D	Panjang (mm)	F (N)	Deformasi (mm)	K (N/m)
1.	K_{1a}	6	192	257,78	0,080277	3211131
2.	K_{1b}	6,5	208	257,78	0,096384	2674510
3.	K_{1c}	7	224	257,78	0,11432	2254899
4.	K_{1d}	7,5	240	257,78	0,13471	1913592
5.	K_{1e}	8	256	257,78	0,15805	1631003
6.	K_{1d}	8,5	272	257,78	0,18379	1402579
7.	K_{1f}	9	288	257,78	0,21242	1213539
8.	K_{1g}	9,5	304	257,78	0,24364	1058036
9.	K_{1h}	10	320	257,78	0,27861	925236
10.	K_{1i}	10,5	336	257,78	0,31683	813622
11.	K_{1j}	11	352	257,78	0,35887	718310
12.	K_{1l}	11,5	368	257,78	0,40358	638733
13.	K_{1m}	12	384	257,78	0,45153	570903

Berdasarkan tabel di atas tersebut, dapat terlihat bahwa besarnya deformasi semakin bertambah seiring dengan pertambahan *overhang length boring bar*, serta nilai konstanta kekakuan *boring bar* menurun seiring dengan bertambahnya L/D *boring bar*. Hal tersebut sesuai

dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Addinuri pada tahun 2021, tetapi nilai konstanta kekakuan *boring bar* pada penelitian ini hampir mendekati namun lebih kecil jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Hal ini disebabkan karena terdapat perbedaan pada ukuran *cavity* yang digunakan.

3.2.7.3.2 Nilai Massa Ekuivalen *Boring Bar* (M_1)

Selain membandingkan nilai konstanta kekakuan, akan dibandingkan pula nilai konstanta massa *boring bar* menggunakan *cavity* untuk *spherical rubber* DVA dengan nilai konstanta massa *boring bar* menggunakan *cavity* untuk *cantilever beam* DVA.

Massa dari sistem utama yang digunakan pada penelitian ini merupakan massa ekuivalen yang mana massa tersebut merepresentasikan gerak massa pada titik yang ditinjau. Untuk mendapatkan nilai massa ekuivalen sistem utama, digunakan simulasi modal pada *software* ANSYS. Didapatkan frekuensi natural fundamental ($\omega_{nsistem}$) yang berbeda untuk tiap variasi *boring bar*, serta nilai konstanta kekakuan *boring bar* (K_1) yang sudah didapat dari hasil perhitungan sebelumnya.

Pada *boring bar* dengan panjang 192 mm (L/D 6) didapatkan frekuensi natural sebesar 538 Hz atau setara dengan 3381 rad/s, sehingga massa ekuivalennya didapat dengan persamaan:

$$M_{1a} = K_{1a} / \omega_{nsistem a}^2$$

$$M_{1a} = 3211131 \frac{N}{m} / \left(3381 \frac{rad}{s} \right)^2$$

$$M_{1a} = 0,281 \text{ kg}$$

Sehingga, didapatkan hasil perhitungan nilai massa *boring bar* yang telah terlampir pada tabel berikut ini.

Tabel 3.3 *Boring Bar Equivalent Mass Value*

Massa Ekuivalen <i>Boring Bar</i>						
No.	Simbol	L/D	Panjang (mm)	ω_n (Hz)	ω_n (rad/s)	M (kg)
1.	M_{1a}	6	192	538	3381	0,281
2.	M_{1b}	6,5	208	467	2933	0,311
3.	M_{1c}	7	224	409	2570	0,341
4.	M_{1d}	7,5	240	361	2269	0,372
5.	M_{1e}	8	256	321	2014	0,402
6.	M_{1d}	8,5	272	287	1801	0,432
7.	M_{1f}	9	288	258	1619	0,463
8.	M_{1g}	9,5	304	233	1464	0,494
9.	M_{1h}	10	320	212	1329	0,524
10.	M_{1i}	10,5	336	193	1212	0,554

11.	M_{1j}	11	352	176	1109	0,584
12.	M_{1l}	11,5	368	162	1019	0,615
13.	M_{1m}	12	384	150	940	0,646

Berdasarkan tabel di atas tersebut, dapat terlihat bahwa besarnya frekuensi natural sistem semakin menurun seiring dengan bertambahnya *overhang length boring bar*, serta nilai massa ekuivalen *boring bar* meningkat seiring dengan meningkatnya *L/D boring bar*. Hal tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Addinuri pada tahun 2021, tetapi nilai massa ekuivalen *boring bar* pada penelitian ini hampir mendekati namun lebih besar nilainya jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Hal ini disebabkan karena terdapat perbedaan pada ukuran *cavity* yang digunakan.

3.2.7.3.3 Nilai Konstanta Redaman *Boring Bar* (C_1)

Untuk penentuan nilai konstanta redaman didapat dari penelitian sebelumnya pada jurnal (Li et al., 2019). Dalam jurnalnya, berdasarkan data yang ada bisa didapatkan bahwa nilai konstanta redaman *boring bar* dari *damping ratio* (ζ_s) bernilai sekitar 0,005 untuk material *steel*. Dengan demikian nilai konstanta redaman *boring bar* didapat dari persamaan berikut.

$$C = 2\zeta_s\sqrt{MK}$$

Pada *boring bar* dengan panjang 192 mm (*L/D* 6), nilai konstanta redaman *boring bar* didapatkan sebesar:

$$C_{1a} = 2\zeta_s\sqrt{M_{1a}K_{1a}}$$

$$C_{1a} = 2 \times 0,005 \sqrt{0,281(\text{kg}) \cdot 3211131(\text{N/m})}$$

$$C_{1a} = 9,499 \text{ N.s/m}$$

Sehingga, didapatkan hasil perhitungan nilai konstanta redaman *boring bar* yang telah terlampir pada tabel berikut ini.

Tabel 3.4 *Boring Bar Damping Constant Value*

Konstanta Redaman <i>Boring Bar</i>					
No.	Simbol	L/D	Panjang (mm)	ζ_s	C (N.s/m)
1.	C_{1a}	6	192	0,005	9,499
2.	C_{1b}	6,5	208	0,005	9,119
3.	C_{1c}	7	224	0,005	8,775
4.	C_{1d}	7,5	240	0,005	8,434
5.	C_{1e}	8	256	0,005	8,097
6.	C_{1d}	8,5	272	0,005	7,787
7.	C_{1f}	9	288	0,005	7,494
8.	C_{1g}	9,5	304	0,005	7,226

9.	C_{1h}	10	320	0,005	6,961
10.	C_{1i}	10,5	336	0,005	6,715
11.	C_{1j}	11	352	0,005	6,479
12.	C_{1l}	11,5	368	0,005	6,268
13.	C_{1m}	12	384	0,005	6,074

3.2.7.4 DVA

Adapun parameter dari komponen DVA yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

- Massa Ekuivalen DVA ($M_{2 \text{ nat}}$ dan $M_{2 \text{ neo}}$) dan Konstanta Kekakuan Ekuivalen DVA ($K_{2 \text{ nat}}$ dan $K_{2 \text{ neo}}$)

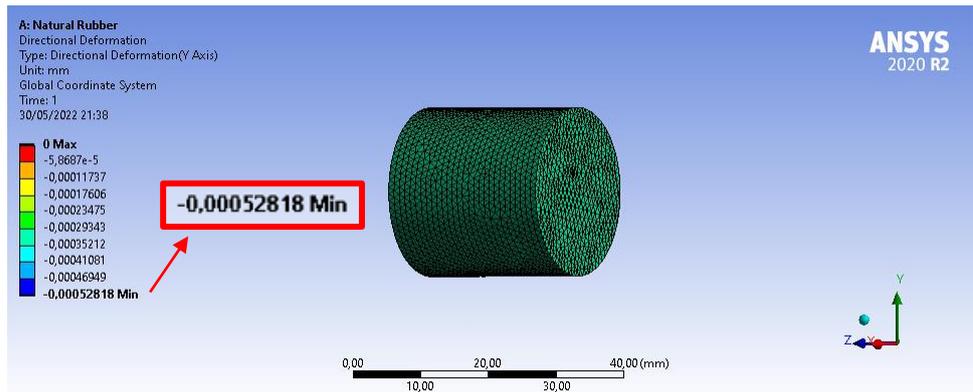
Untuk mendapatkan nilai dari kekakuan DVA, dimensi dan material dari *rubber* dirancang sedemikian rupa agar DVA memiliki frekuensi natural yang sama dengan frekuensi gaya eksitasi yakni pada rentang 150 – 538 Hz. Konstanta kekakuan DVA didapatkan melalui simulasi pada *software* ANSYS *static structural* dengan memberikan tumpuan karet *fixed support* dan *standard earth gravity* pada DVA. *Fix support* yang digunakan pada DVA diberikan di permukaan massa bola dan permukaan dalam bola karet. Hal tersebut cukup berbeda dengan pemasangan massa bola pada kenyatannya dimana massa bola tersebut dapat dilepas dan dipasang sesuai kebutuhan. Namun pada dasarnya, pada penelitian ini menggunakan *fixed support* tersebut agar mendapatkan hasil pada *software* yang digunakan. Dimana massa keseluruhan sistem DVA (*mass* DVA, bola karet, dan *housing*) didapatkan melalui menu *properties* pada *software* ANSYS seperti pada gambar 3.30 dan 3.31. Diperoleh deformasi statis pada arah sumbu y sebesar 0,00052818 mm pada material *natural rubber* dan 0,00080645 mm pada material *neophrene rubber* seperti yang tertera pada gambar 3.32 dan 3.33 berikut.

Properties	
<input type="checkbox"/> Volume	12271 mm ³
<input type="checkbox"/> Mass	7,9457e-002 kg
Scale Factor Va...	1,

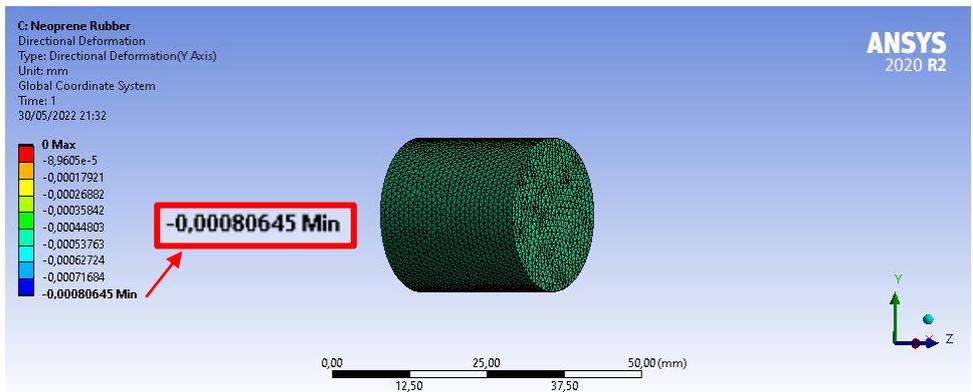
Gambar 3.30 *Mass DVA with Natural Rubber*

Properties	
<input type="checkbox"/> Volume	12271 mm ³
<input type="checkbox"/> Mass	8,0256e-002 kg
Scale Factor Value	1,

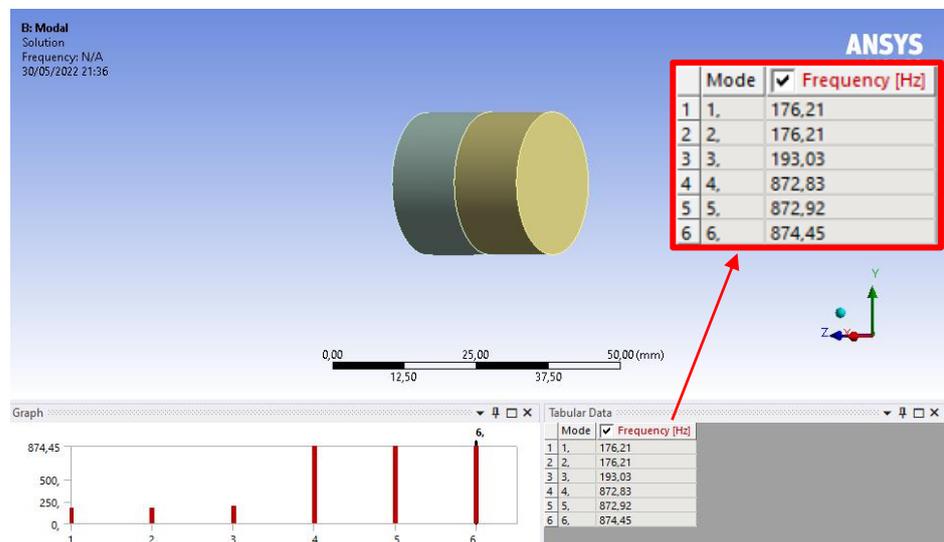
Gambar 3.31 *Mass DVA with Neophrene Rubber*



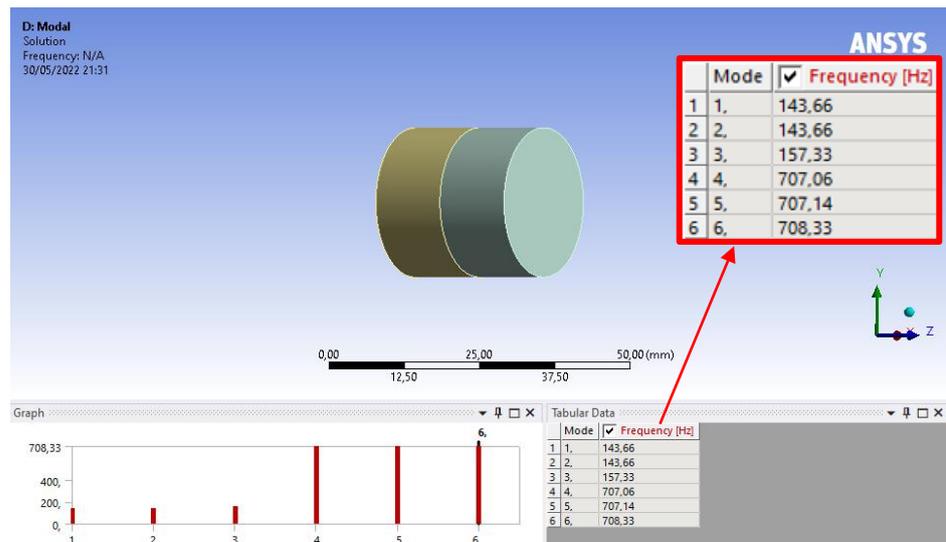
Gambar 3.32 Static Deformation DVA with Natural Rubber Y-Axis Direction



Gambar 3.33 Static Deformation DVA with Neoprene Rubber Y-Axis Direction



Gambar 3.34 Natural Frequency DVA with Natural Rubber



Gambar 3.35 Natural Frequency DVA with Neophrene Rubber

Dapat terlihat bahwa dengan menggunakan karet material *natural rubber* memiliki frekuensi natural 176 Hz setara dengan 1106 rad/s sedangkan menggunakan karet material *neophrene rubber* memiliki frekuensi natural DVA 144 Hz yang setara dengan 905 rad/s. Dimana nilai konstanta kekakuan DVA dengan karet *natural rubber* dan *neophrene rubber* didapatkan dari perhitungan berikut:

- Konstanta Kekakuan DVA dengan *Natural Rubber*:

$$M_{2 \text{ nat}} = K_{2 \text{ nat}} / \omega_{2 \text{ nat}}^2$$

$$0,079457 \text{ kg} = K_{2 \text{ nat}} / (1106 \text{ rad/s})^2$$

$$K_{2 \text{ nat}} = 97195 \text{ N/m}$$

- Konstanta Kekakuan DVA dengan *Neophrene Rubber*:

$$M_{2 \text{ neo}} = K_{2 \text{ neo}} / \omega_{2 \text{ neo}}^2$$

$$0,080256 \text{ kg} = K_{2 \text{ neo}} / (905 \text{ rad/s})^2$$

$$K_{2 \text{ neo}} = 65732 \text{ N/m}$$

- Konstanta Redaman DVA ($C_{2 \text{ nat}}$ dan $C_{2 \text{ neo}}$)

Seperti pada konstanta redaman pada sistem utama, konstanta redaman pada DVA didapatkan dari *damping ratio* (ζ_r) yang didapat dari penelitian terdahulu, yang mana memiliki nilai beragam mulai dari 0,02 hingga 0,2. Namun, pada penelitian ini digunakan *damping ratio* 0,02 pada material *rubber*. Dengan demikian didapatkan nilai konstanta redaman DVA dengan *natural rubber* dan DVA dengan *neophrene rubber* sebagai berikut.

- Konstanta Redaman DVA dengan *Natural Rubber*:

$$C_{2 \text{ nat}} = 2\zeta_s \sqrt{M_{2 \text{ nat}} K_{2 \text{ nat}}}$$

$$C_{2 \text{ nat}} = 2 \cdot 0,02 \sqrt{0,079457(\text{kg}) \cdot 97195(\text{N/m})}$$

$$C_{2 \text{ nat}} = 3,515 \text{ N.s/m}$$

- Konstanta Redaman DVA dengan *Neophrene Rubber*:

$$C_{2 \text{ neo}} = 2\zeta_s \sqrt{M_{2 \text{ neo}} K_{2 \text{ neo}}}$$

$$C_{2 \text{ neo}} = 2 \cdot 0,02 \sqrt{0,080256(\text{kg}) \cdot 65732(\text{N/m})}$$

$$C_{2 \text{ neo}} = 2,905 \text{ N.s/m}$$

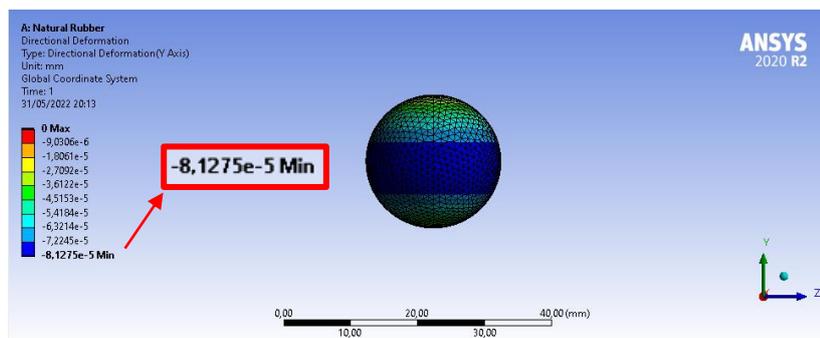
Selain menghitung konstanta kekakuan dan konstanta redaman untuk sistem DVA, dilakukan pula simulasi guna mendapatkan nilai massa ekuivalen, konstanta kekakuan, dan konstanta redaman untuk karet yang digunakan sebagai peredam sistem yang digunakan, yaitu *natural rubber* dan *neophrene rubber*. Dimana massa karet didapatkan melalui menu properties pada software ANSYS seperti pada gambar 3.36 dan 3.37. Diperoleh deformasi statis pada arah sumbu y sebesar 0,0000081275 mm pada material *natural rubber* dan 0,00016564 mm pada material *neophrene rubber* seperti yang tertera pada gambar 3.38 dan 3.39 berikut.

Properties	
<input type="checkbox"/> Volume	2421,6 mm ³
<input type="checkbox"/> Mass	2,2279e-003 kg
Scale Factor Va...	1,

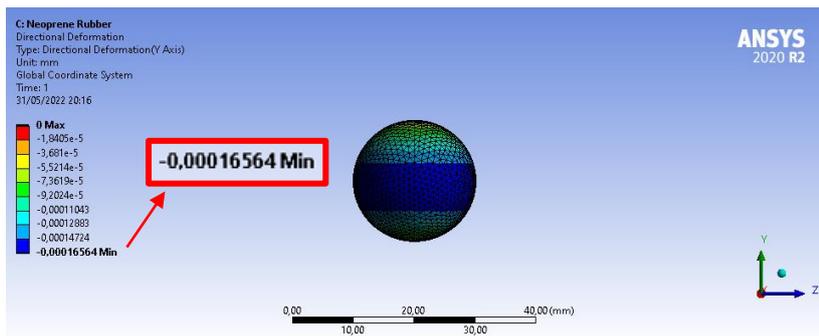
Gambar 3.36 Mass of Natural Rubber

Properties	
<input type="checkbox"/> Volume	2421,6 mm ³
<input type="checkbox"/> Mass	3,0271e-003 kg
Scale Factor Value	1,

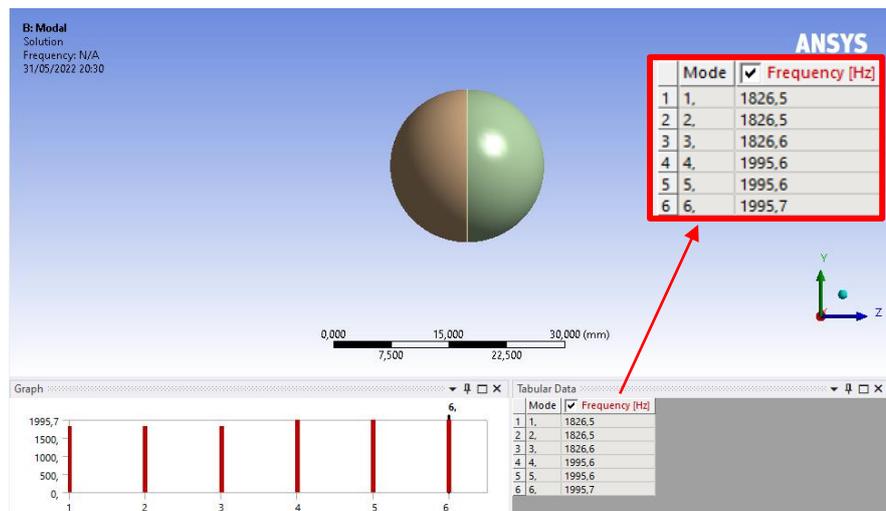
Gambar 3.37 Mass of Natural Rubber



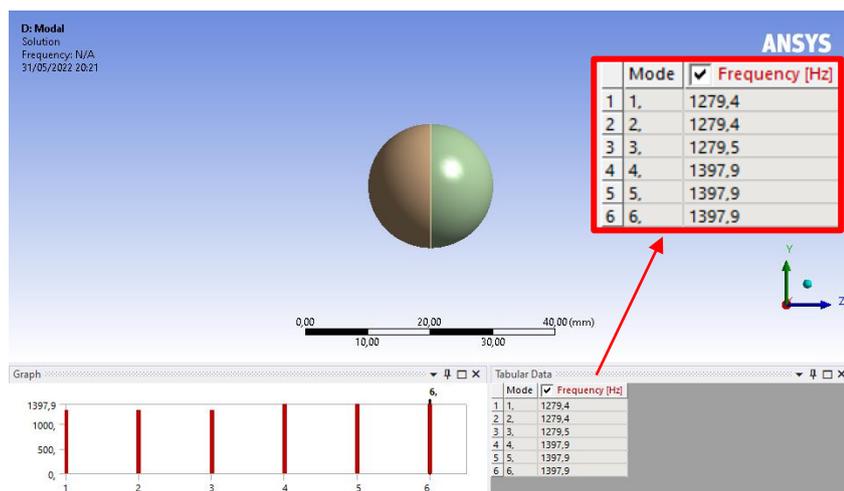
Gambar 3.38 Natural Rubber Static Deformation Y-Axis Direction



Gambar 3.39 Neoprene Rubber Static Deformation Y-Axis Direction



Gambar 3.40 Natural Frequency of Natural Rubber



Gambar 3.41 Natural Frequency of Neoprene Rubber

Dimana nilai konstanta kekakuan dan konstanta redaman karet *natural rubber* dan *neoprene rubber* didapatkan dari perhitungan berikut:

- Konstanta Kekakuan *Natural Rubber*:

$$M_{2 \text{ natrub}} = K_{2 \text{ natrub}} / \omega_{2 \text{ natrub}}^2$$

$$0,0022279 \text{ kg} = K_{2 \text{ natrub}} / (11470,42 \text{ rad/s})^2$$

$$K_{2 \text{ natrub}} = 293126 \text{ N/m}$$

- Konstanta Kekakuan *Neophrene Rubber*:

$$M_{2 \text{ neorub}} = K_{2 \text{ neorub}} / \omega_{2 \text{ neorub}}^2$$

$$0,0030271 \text{ kg} = K_{2 \text{ neorub}} / (8034,632 \text{ rad/s})^2$$

$$K_{2 \text{ neorub}} = 195415 \text{ N/m}$$

- Konstanta Redaman *Natural Rubber*:

$$C_{2 \text{ natrub}} = 2\zeta_s \sqrt{M_{2 \text{ natrub}} K_{2 \text{ natrub}}}$$

$$C_{2 \text{ natrub}} = 2 \cdot 0,02 \sqrt{0,0022279 \text{ (kg)} \cdot 293126 \text{ (N/m)}}$$

$$C_{2 \text{ natrub}} = 1,022 \text{ N} \cdot \text{s/m}$$

- Konstanta Redaman *Neophrene Rubber*:

$$C_{2 \text{ neorub}} = 2\zeta_s \sqrt{M_{2 \text{ neorub}} K_{2 \text{ neorub}}}$$

$$C_{2 \text{ neorub}} = 2 \cdot 0,02 \sqrt{0,0030271 \text{ (kg)} \cdot 195415 \text{ (N/m)}}$$

$$C_{2 \text{ neorub}} = 0,973 \text{ N} \cdot \text{s/m}$$

Berdasarkan simulasi dan perhitungan yang sudah dilakukan, maka dapat dirangkum parameter *boring bar* dan DVA seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.5 Boring Bar and DVA Parameters

Customized Boring Bar							
No.	L/D	Panjang (mm)	K ₁ (N/m)	M ₁ (kg)	C ₁ (Ns/m)	ω _n (Hz)	ζ ₁
1.	6	192	3211131	0,281	9,499	538	0,005
2.	6,5	208	2674510	0,311	9,119	467	0,005
3.	7	224	2254899	0,341	8,775	409	0,005
4.	7,5	240	1913592	0,372	8,434	361	0,005
5.	8	256	1631003	0,402	8,097	321	0,005
6.	8,5	272	1402579	0,432	7,787	287	0,005
7.	9	288	1213539	0,463	7,494	258	0,005
8.	9,5	304	1058036	0,494	7,226	233	0,005
9.	10	320	925236	0,524	6,961	212	0,005
10.	10,5	336	813622	0,554	6,715	193	0,005
11.	11	352	718310	0,584	6,479	176	0,005
12.	11,5	368	638733	0,615	6,268	162	0,005

13.	12	384	570903	0,646	6,074	150	0,005
DVA							
No.	Parameter	K₂ (N/m)	M₂ (kg)	C₂ (Ns/m)	ω_n (Hz)	ζ₂	
1.	<i>Natural Rubber</i>	97195	0,079457	3,515	176	0,02	
2.	<i>Neophrene Rubber</i>	65732	0,080256	2,905	144	0,02	
Karet DVA							
No.	Parameter	K (N/m)	M (kg)	C (Ns/m)	ω_n (Hz)		
1.	<i>Natural Rubber</i>	293126	0,0022279	1,022	1826,5		
2.	<i>Neophrene Rubber</i>	195415	0,0030271	0,973	1279,4		

3.2.8 Simulasi

Untuk mendapatkan reduksi getaran dan *bode diagram*, pada penelitian ini digunakan simulasi modal yang dihubungkan dengan *harmonic response* pada *software ANSYS Workbench*. Adapun beberapa tahapan serta poin penting dalam melakukan simulasi ini adalah sebagai berikut.

3.2.8.1 Engineering Data

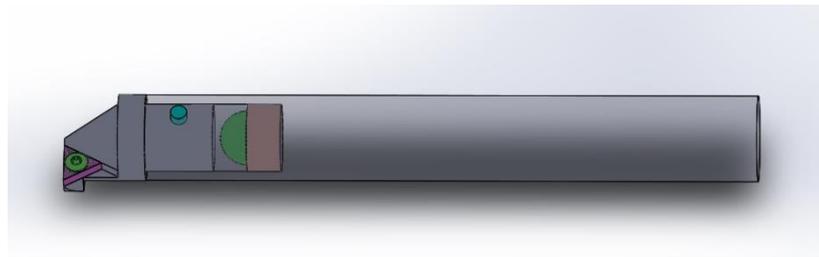
Tabel di bawah ini merupakan material dan *properties* yang akan dimasukkan sebagai *input* pada menu *engineering data*.

Tabel 3.6 Engineering Data

Mechanical Properties	Benda Kerja	Insert	Karet 1	Karet 2	Massa
Material	AISI 1045	Carbide	Natural Rubber	Neophrene Rubber	Bearing Steel
Density (kg/m ³)	7850	15630	920	1250	7800
Young Modulus (GPa)	210	530	0,0015	0,001	210
Poissons Ratio	0,3	0,31	0,49	0,49	0,285
Bulk Modulus (GPa)	175	465	0,025	0,0167	162
Shear Modulus (GPa)	81	202	0,0005	0,00033	81
Damping Ratio	0,005	0,005	0,02	0,02	0,005

3.2.8.2 Geometri

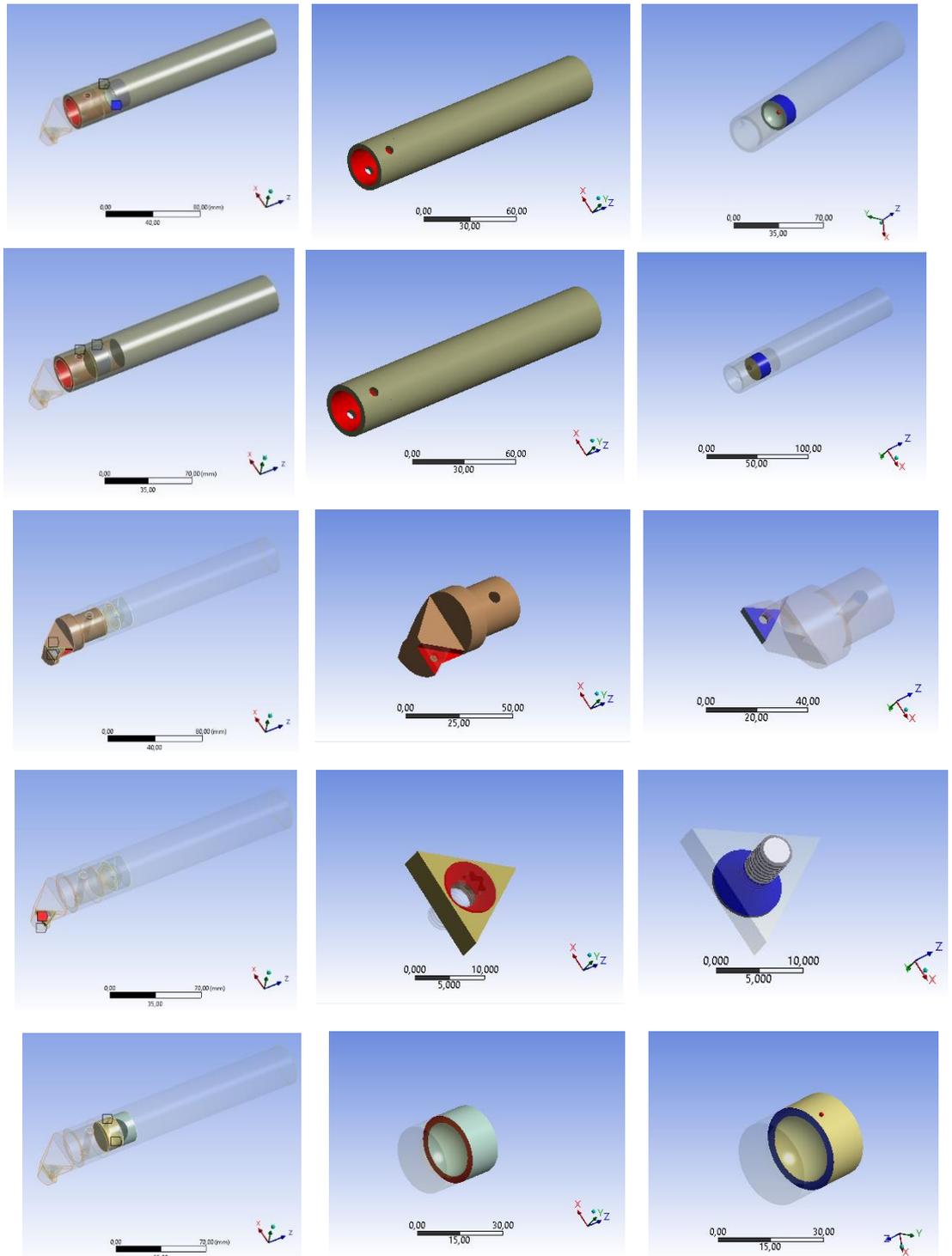
Adapun desain yang nantinya akan digunakan yakni merupakan *customized boring bar*. *Customized boring bar* divariasikan dengan 13 variasi panjang *L/D* mulai dari 6 hingga 12 dengan interval 0,5. Berikut gambar 3.42 merupakan desain yang nantinya akan digunakan.

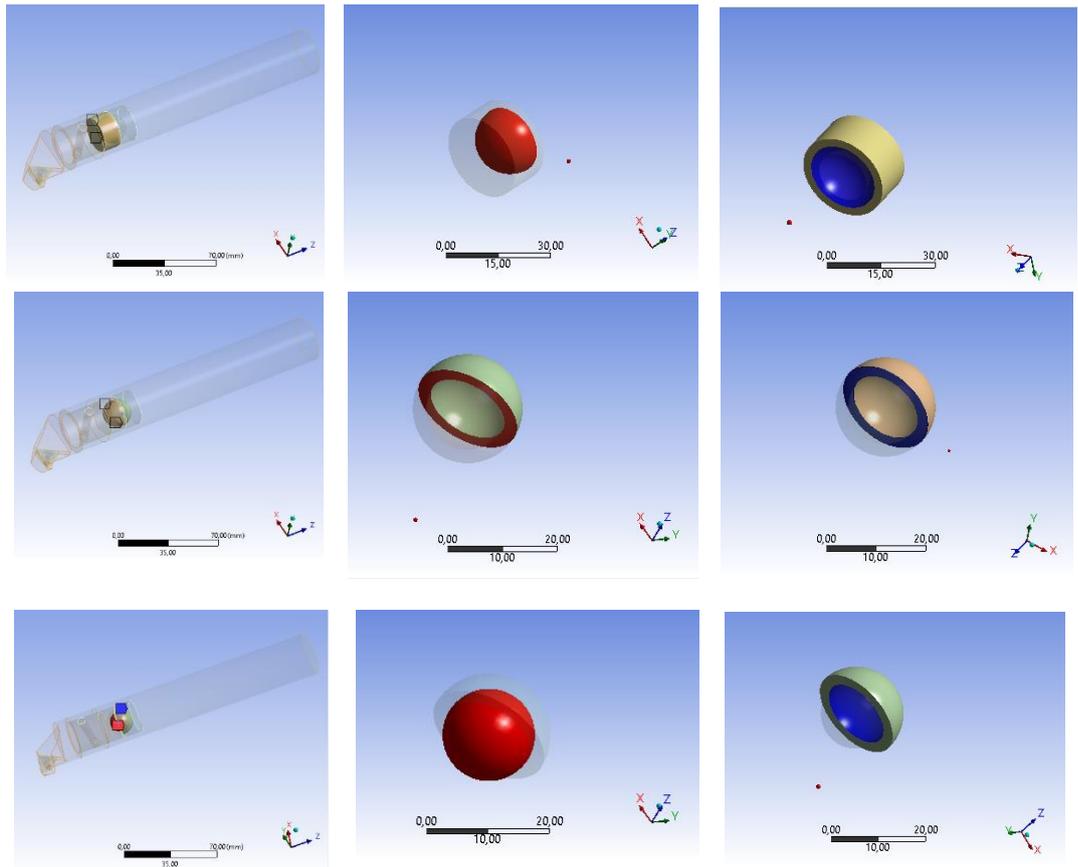


Gambar 3.42 The Main System with DVA

3.2.8.3 Connection

Pada penelitian ini hanya terdapat 1 jenis *connection* yaitu *bonded connection*. Pada gambar di bawah ini, *contact surface* yang didefinisikan adalah permukaan yang berwarna merah, sedangkan *target surface* adalah permukaan yang berwarna biru. Pada *bonded connection*, kedua permukaan tidak dapat bergerak ke arah normal maupun tangensial, dimana digunakan pada kontak permukaan metal dengan metal dan karet dengan karet sebagaimana yang ditunjukkan oleh gambar 3.43 di bawah ini.

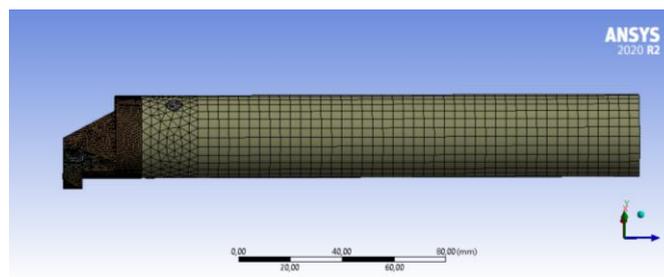




Gambar 3.43 *Bonded Connection*

3.2.8.4 Mesh

Meshing adalah metode *finite element* sebagai pendekatan pada wujud aslinya. Pada penelitian ini digunakan 2 teknik *meshing* sederhana yakni *body sizing* dan *face meshing*. *Body sizing* sendiri dibagi menjadi 3 bagian yakni *boring bar*, *insert*, dan *DVA* yang mana menggunakan *element size* sebesar 1 mm. Untuk *boring bar* sendiri menggunakan metode *multizone* dengan *element size* 4 mm. *Face meshing* dilakukan pada profil permukaan melengkung pada *body boring bar* untuk menyesuaikan *body sizing* yang digunakan. Seluruh *body sizing* memiliki *behaviour hard* yang memiliki makna dimana *element size* yang telah ditetapkan tidak terdistorsi. Terdapat 518005 *node* dan 355235 *element* pada geometri sistem utama dengan *DVA*. Dimana memiliki *element quality* minimum sebesar 0,0045534, maksimum 1, dan rata-rata 0,84018 seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.44 di bawah ini.



(a)

Mesh Metric	Skewness
<input type="checkbox"/> Min	1,3057e-010
<input type="checkbox"/> Max	0,99986
<input type="checkbox"/> Average	0,22432
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,13695

Mesh Metric	Orthogonal Quality
<input type="checkbox"/> Min	1,3871e-004
<input type="checkbox"/> Max	1,
<input type="checkbox"/> Average	0,77442
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,13587

(b)

Skewness mesh metrics spectrum					
Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

Orthogonal Quality mesh metrics spectrum					
Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

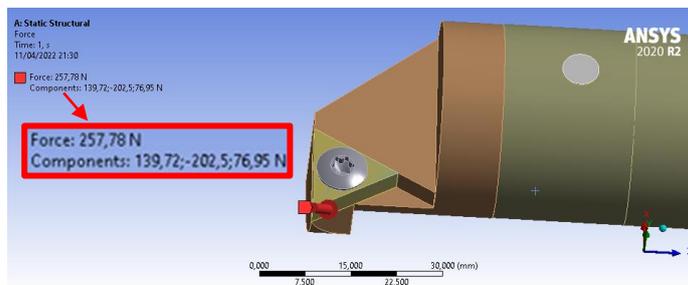
© 2013 ANSYS, Inc. October 29, 2014 ANSYS Confidential

(c)

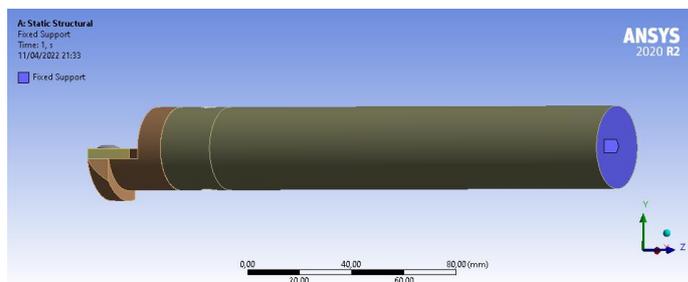
Gambar 3.44 (a) Mesh (b) Mesh Quality (c) Skewness and Orthogonal Quality

3.2.8.5 Force dan Fixed Support

Gaya eksitasi yang diterima diasumsikan terpusat pada bagian *edge* pada *nose insert*, hal ini dikarenakan pemotongan dilakukan pada kondisi *finish cut* dimana *depth of cut* sangat kecil. *Fixed support* diletakkan pada bagian penampang belakang dimana *boring bar* menerima gaya tekan antara *clamp bolt* dan *tool post* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.45 di bawah ini.



(a)

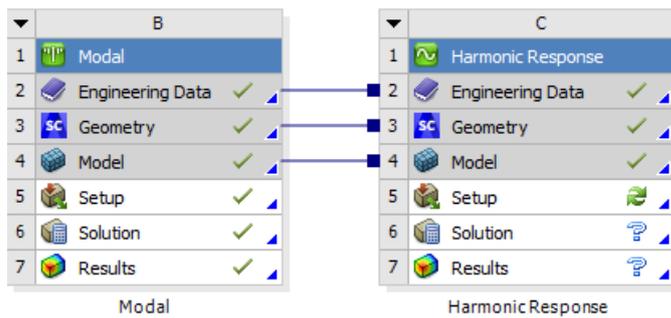


(b)

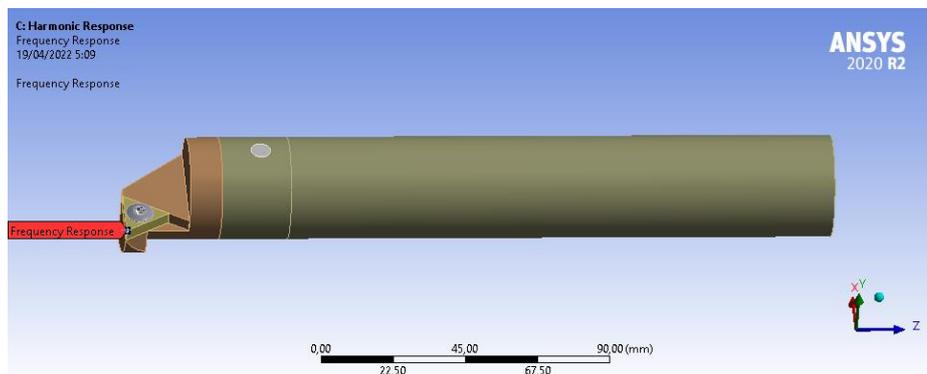
Gambar 3.45 (a) Excitation Force at The Edge of Boring Bar (b) Fixed Support at The Back of Boring Bar

3.2.8.6 Modal dan Harmonic Response

Modal merupakan salah satu bagian dari ANSYS Workbench yang memiliki fungsi untuk mencari frekuensi natural, sedangkan *harmonic response* yang dihubungkan dengan *modal* memiliki fungsi untuk *plotting* hasil *modal analysis* pada berbagai *output* seperti deformasi pada frekuensi dan gaya tertentu, dan juga *bode diagram*. Pada simulasi ini, *engineering data*, *geometry*, *model*, dan *solution* pada *modal* diberi garis penghubung dengan *harmonic response* seperti pada gambar 3.46, kemudian setelah melakukan *input engineering data*, *input geometry*, *input connection*, dan *meshing*, pada simulasi modal diberi *input fixed support* kemudian *maximum modes* diatur hingga *mode* yang muncul melebihi 1000 Hz, hal ini dilakukan karena *bode diagram* yang menjadi *output* akan diatur dari 0 Hz hingga 1000 Hz. Kemudian setelah *mode* pada *geometry* muncul, pada *harmonic response* diberikan *input* gaya eksitasi sesuai pada tabel 3.1 pada ujung insert. *Solution* pada *harmonic response* yang akan diambil adalah *directional deformation* arah x, y, dan z pada frekuensi eksitasi yang tertera pada tabel 3.1, dan *frequency response* dengan display *bode diagram*. Respon yang dianalisis seperti pada gambar 3.47 adalah 1 *vertex* pada bagian tepi *insert* guna mengetahui respon reduksi getaran dan 1 *body mass ring* guna mengetahui desain DVA tidak menyentuh spesimen benda kerja saat proses pengeboran.



Gambar 3.46 Modal and Harmonic Response



Gambar 3.47 Frequency Response at The Edge of Chisel

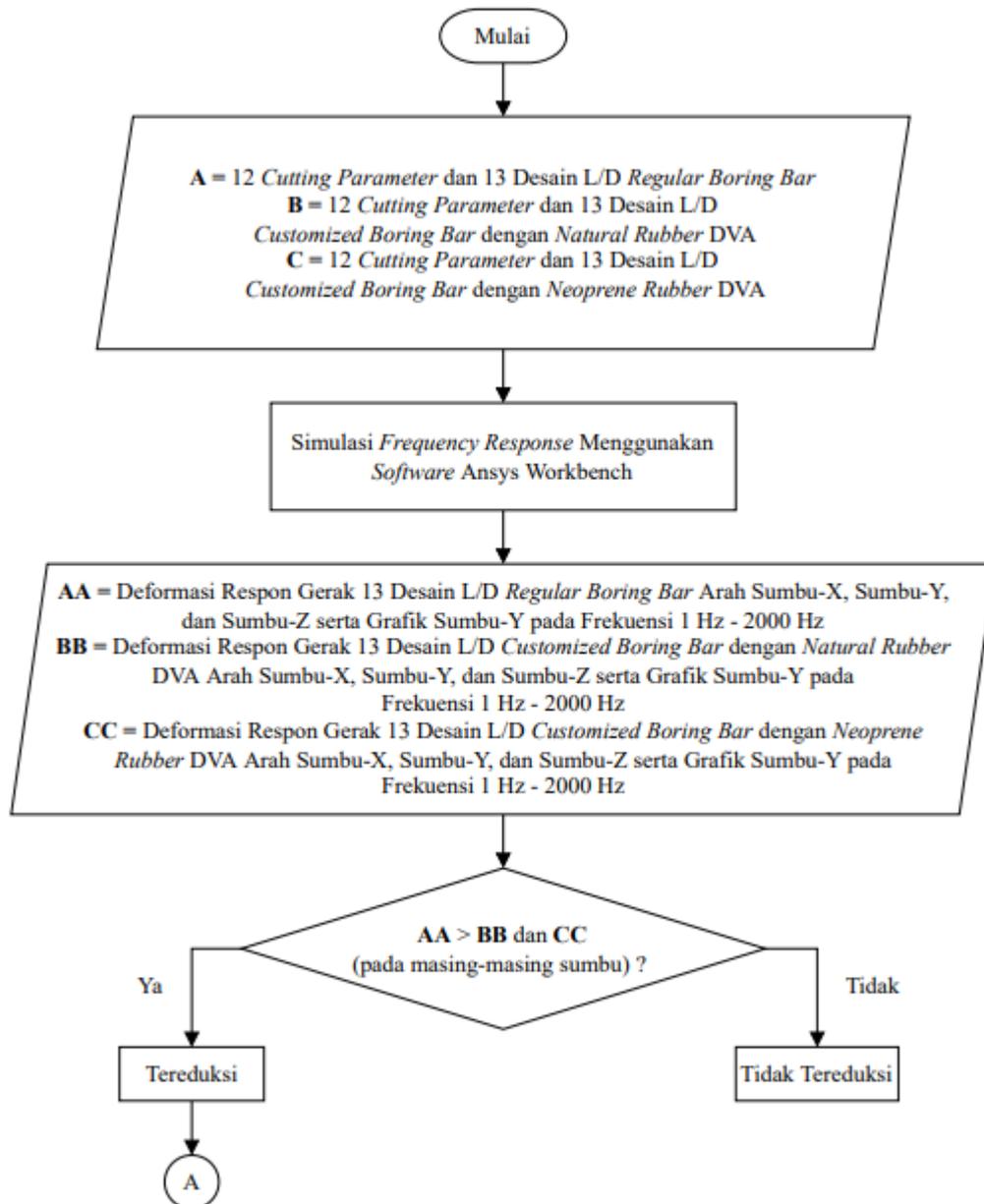
3.2.9 Reduksi Respon Getaran

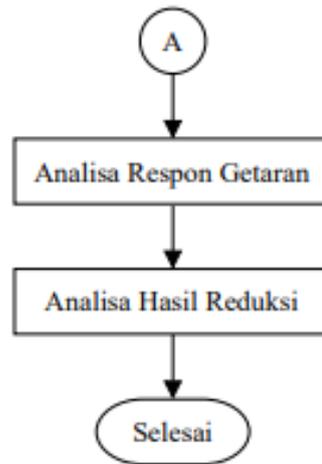
Setelah simulasi dilakukan, maka didapatkan reduksi respon getaran yang kemudian akan dibentuk grafik reduksi respon getaran DVA terhadap *boring bar* dan respon gerak *mass ring* untuk membuktikan bahwa desain yang digunakan aman, DVA yang dapat mereduksi hingga batas stabil yang telah ditentukan, dan bode diagram dengan grafik deformasi dan frekuensi masing-masing pada sumbu x, y, dan z.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Flowchart Analisis Data

Pengolahan data dan pembahasan pada penelitian ini dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah seperti diagram alir pada gambar 4.1 berikut.





Gambar 4.1 Data Analysis and Discussion Flowchart

4.2 Analisis Respon Getaran

Pada penelitian ini simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* ANSYS *Workbench static structural, modal, dan harmonic response*. Sehingga pada Bab IV ini simulasi dilakukan dengan *output* yaitu *deformation of frequency response* pada *insert* dengan sumbu x, y, dan z di masing-masing geometri dan variasi. Variasi dimensi *boring bar* yang digunakan yaitu rasio L/D 6 hingga 12 interval 0,5 dengan diameter luar sebesar 32 mm dan panjang yang menyesuaikan variasi rasio L/D. Nilai konstanta kekakuan dan massa ekuivalen yang berbeda pada masing-masing variasi akan menimbulkan pergerakan dari sistem utama yang berbeda-beda pula, sehingga grafik yang didapatkan menggambarkan respon getaran dari sistem utama pada frekuensi operasional serta perbandingan tiap variasinya. Data yang dihasilkan dari simulasi tersebut kemudian diolah menggunakan Microsoft Excel dengan membagi semua respon data yang didapat dengan deformasi statis *regular boring bar* terbesar dan *customized boring bar* pada sumbu x, y, dan z. Dari hasil olah data pada Ms.Excel didapatkan *dimensionless frequency response* yang kemudian di-plot menjadi grafik/bode diagram serta grafik 3D persentase reduksi getaran setelah diberikan penambahan DVA.

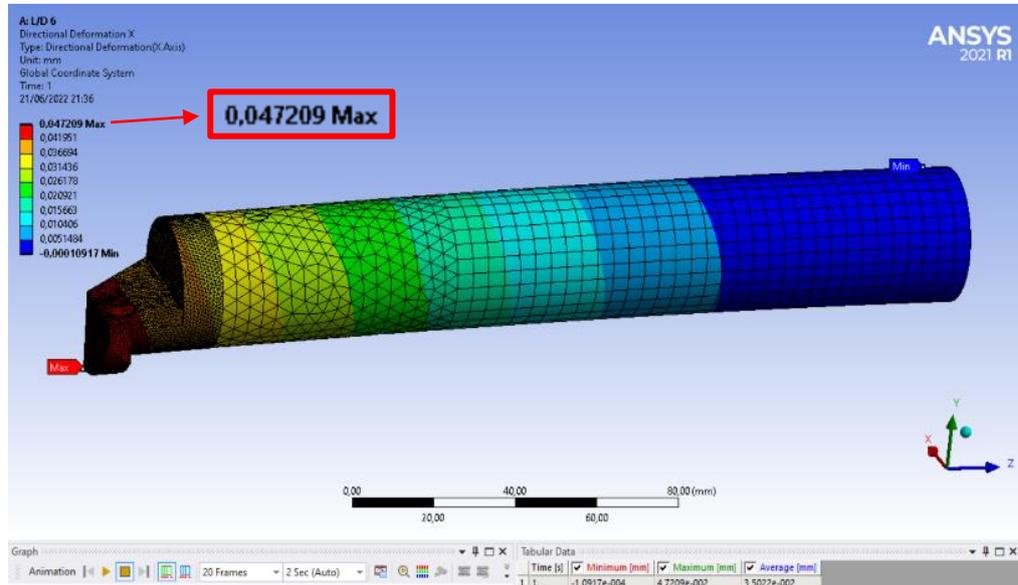
4.2.1 Respon Getaran Boring Bar Tanpa DVA

Analisis respon getaran sistem utama (*boring bar*) tanpa DVA dilakukan pada arah sumbu x, y, dan z. Sistem utama pada penelitian ini merupakan *boring bar* berlubang (dengan *cavity*). Simulasi dilakukan untuk mendapatkan respon getaran sistem utama dalam bentuk rasio amplitudo terhadap frekuensi yang kemudian di-plot untuk mendapatkan bode diagram. Berikut merupakan gambar *deformation of frequency response* yang didapatkan dari *software* ANSYS serta bode diagram hasil simulasi respon getaran sistem utama.

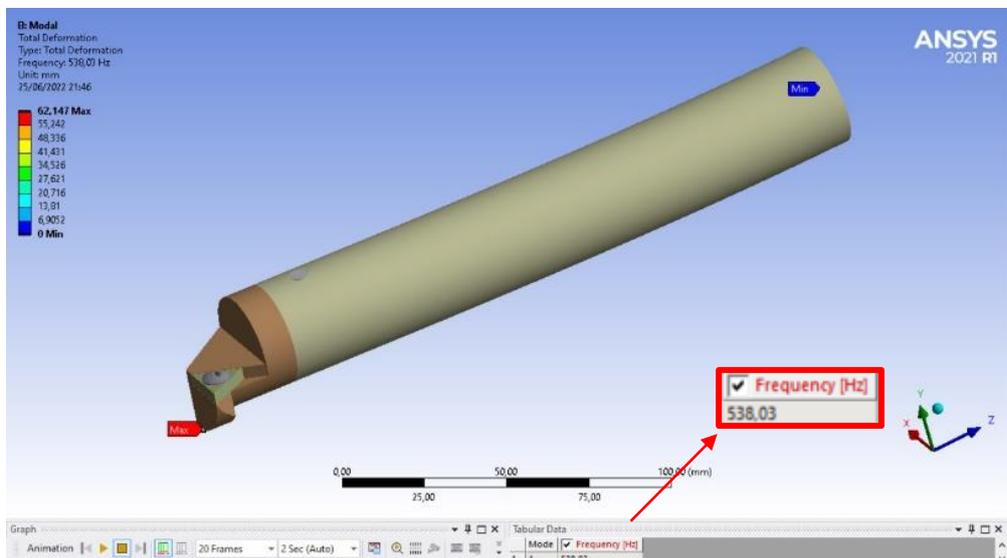
4.2.1.1 Analisis Respon Getaran Boring Bar Tanpa DVA Sumbu X (Radial)

Analisis respon getaran pada *boring bar* tanpa DVA merupakan *boring bar* dengan *cavity* sepanjang 50 mm yang diberikan frekuensi pada 0 – 1000 Hz. Pada penelitian ini akan menampilkan gambar 4.2 yang menunjukkan hasil deformasi pada simulasi dari *harmonic response* dengan menggunakan *software*

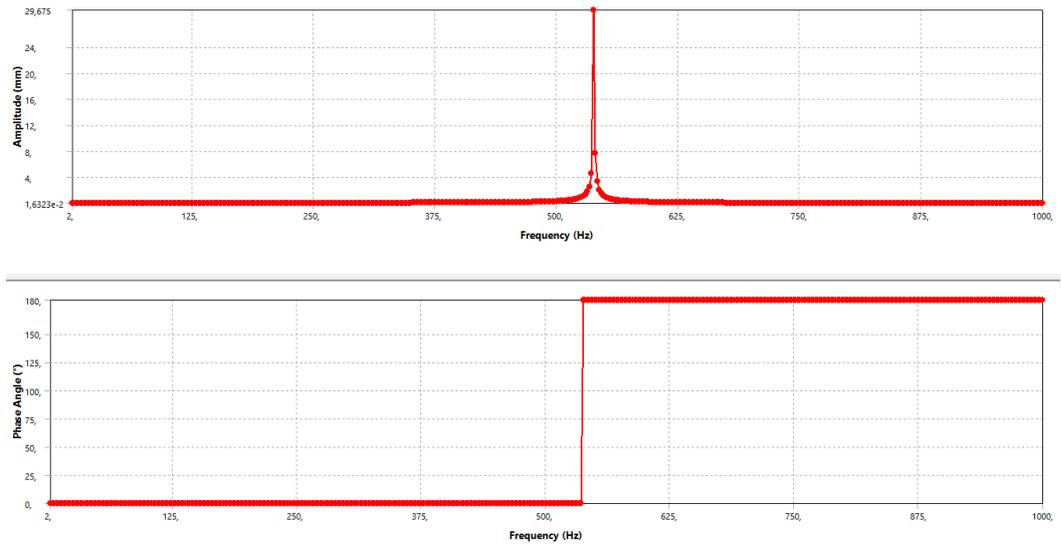
ANSYS Workbench hingga didapatkan hasil berupa *amplitude* dan *phase angle* pada rentang frekuensi yang diberikan. Berikut adalah *regular boring bar* dengan L/D 6 yang merupakan salah satu contoh deformasi dari 13 variasi L/D yang ada.



(a)

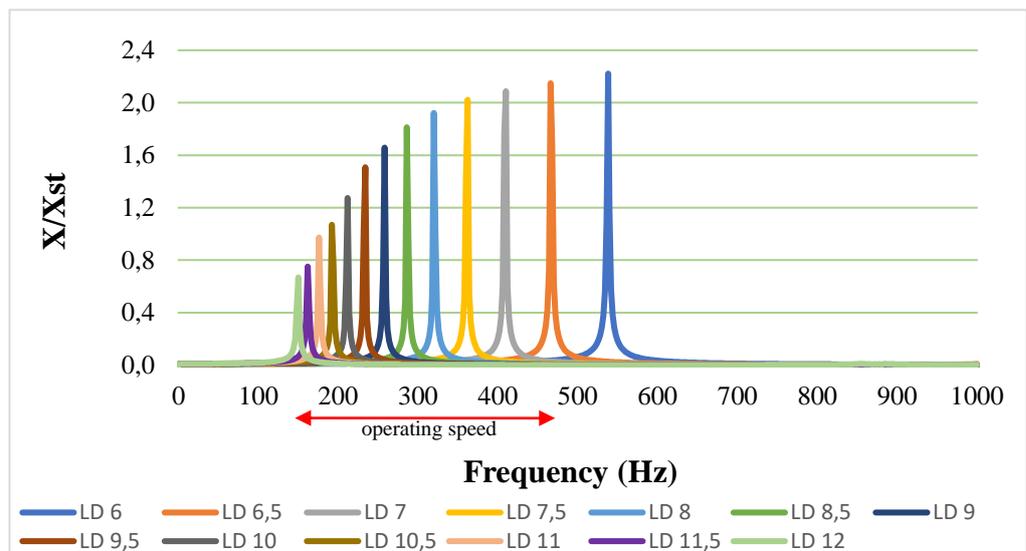


(b)



(c)

Gambar 4.2 X-Axis L/D 6 Regular Boring Bar (a) Directional Deformation (b) Natural Frequency (c) Bode Diagram

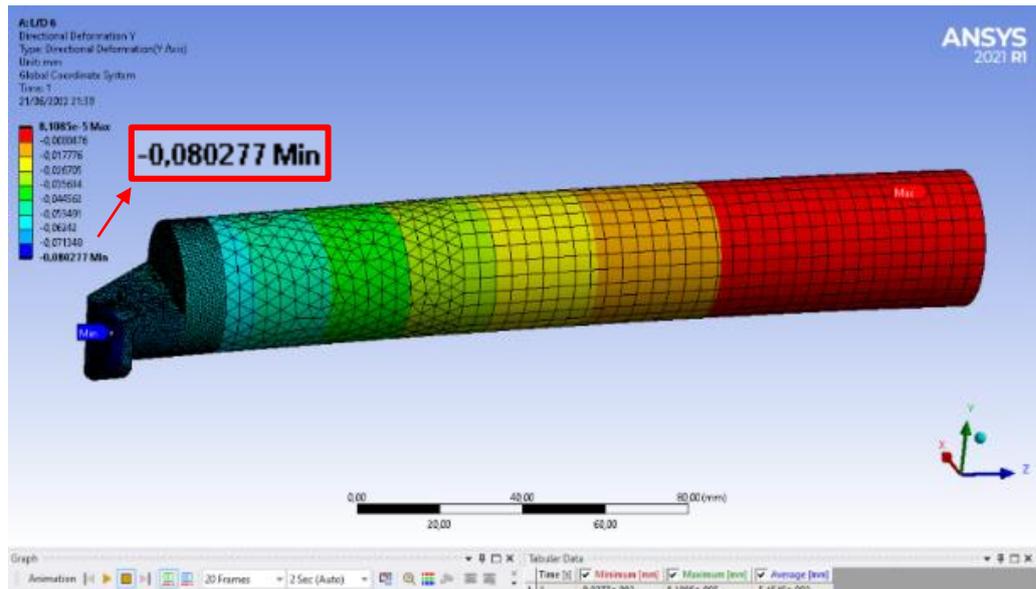


Gambar 4.3 Vibration Response of Regular Boring Bar in X-Axis Direction

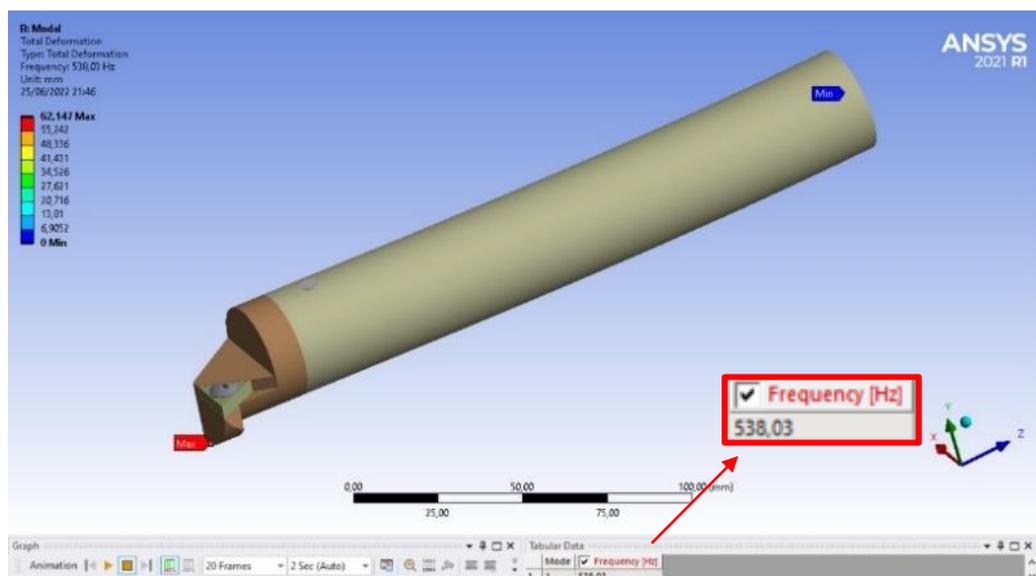
Operating speed yang digunakan pada penelitian ini yaitu pada frekuensi 136 – 485 Hz. *Regular boring bar* dengan L/D 6 memiliki nilai deformasi maksimum arah sumbu x sebesar 0,047209 mm dan frekuensi natural sebesar 538,03 Hz. Gambar 4.3 di atas merupakan grafik rasio amplitudo (X/X_{st}) terhadap frekuensi *regular boring bar*. Kemudian didapatkan bode diagram respon getaran sistem utama tanpa DVA dengan variasi panjang *boring bar* ketika diberikan putaran *spindle* sebesar 36 rpm hingga 2000 rpm sehingga didapatkan rentang frekuensi 0-1000 Hz seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.3. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa L/D 6 memiliki *dimensionless frequency response* tertinggi yaitu sebesar 2,22 pada frekuensi 538 Hz, sedangkan L/D 12 memiliki *dimensionless frequency response* terendah sebesar 0,667 pada frekuensi 150 Hz.

4.2.1.2 Analisis Respon Getaran Boring Bar Tanpa DVA Sumbu Y (Tangential)

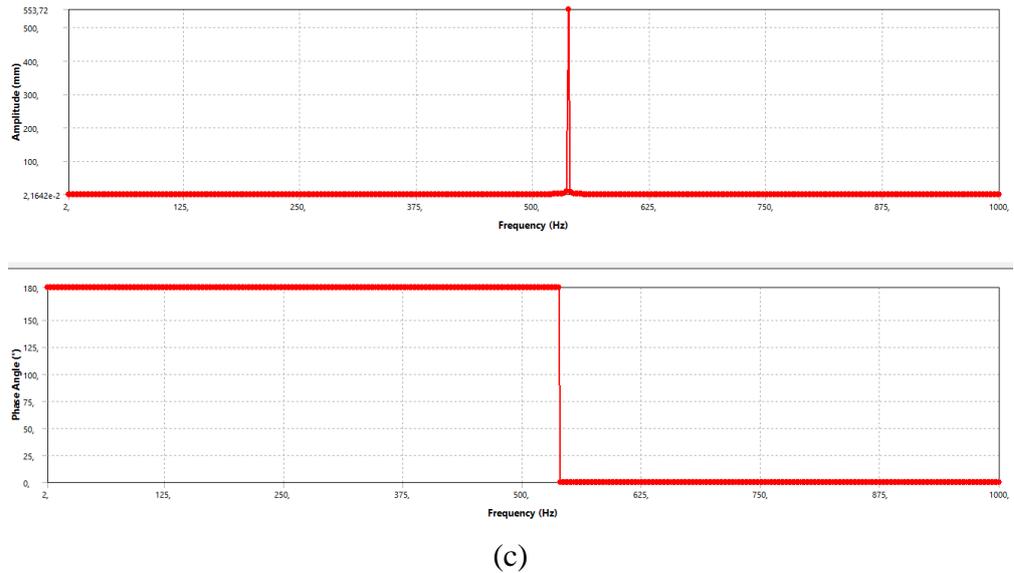
Pada penelitian ini akan menampilkan gambar 4.4 yang menunjukkan hasil deformasi pada simulasi dari *harmonic response* dengan menggunakan *software ANSYS Workbench* hingga didapatkan hasil berupa *amplitude* dan *phase angle* pada rentang frekuensi yang diberikan. Berikut adalah *regular boring bar* dengan L/D 6 yang merupakan salah satu contoh deformasi dari 13 variasi L/D yang ada.



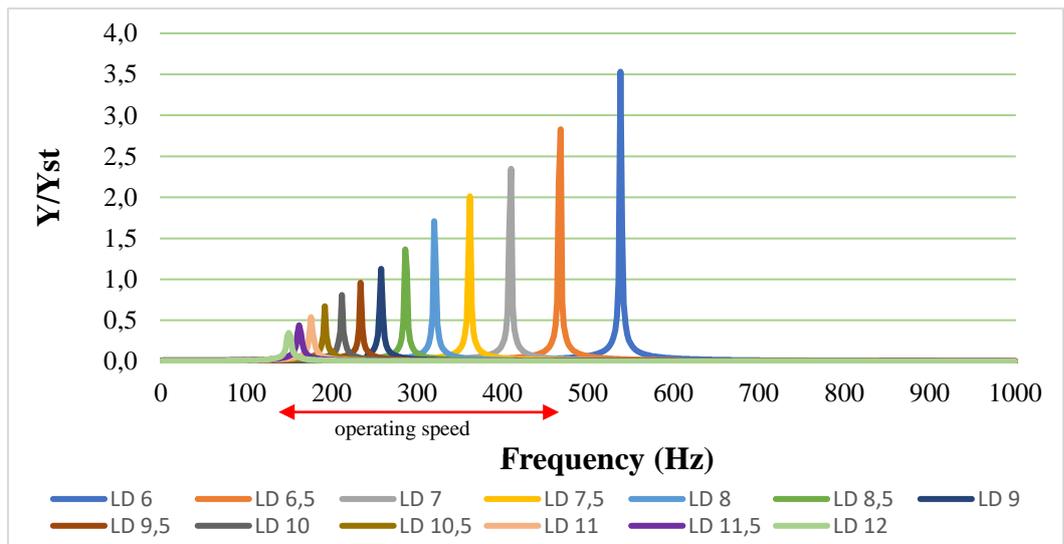
(a)



(b)



Gambar 4.4 *Y-Axis L/D 6 Regular Boring Bar (a) Directional Deformation (b) Natural Frequency (c) Bode Diagram*

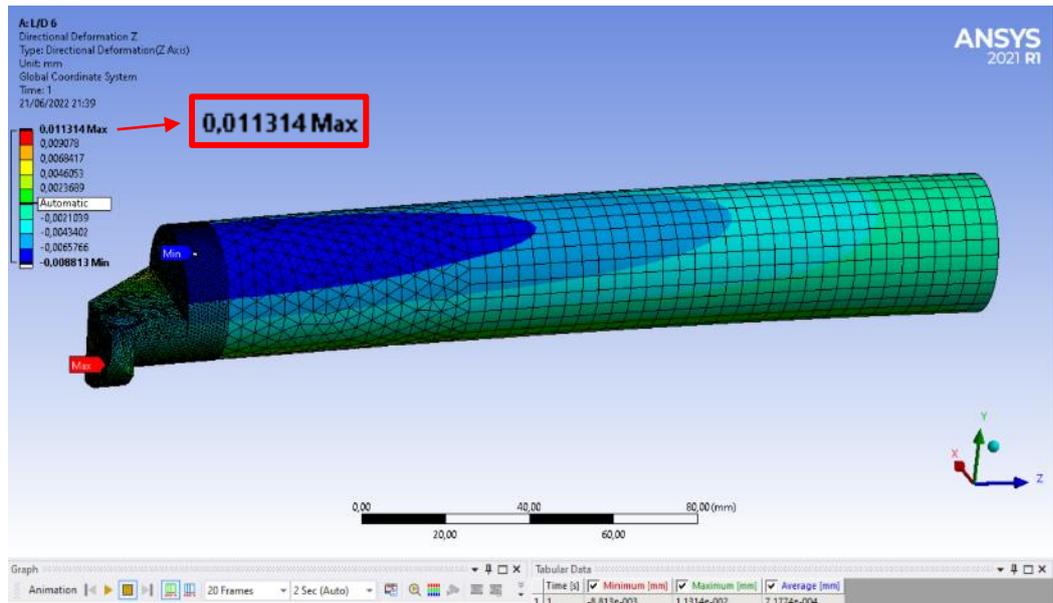


Gambar 4.5 *Vibration Response of Regular Boring Bar in Y-Axis Direction*

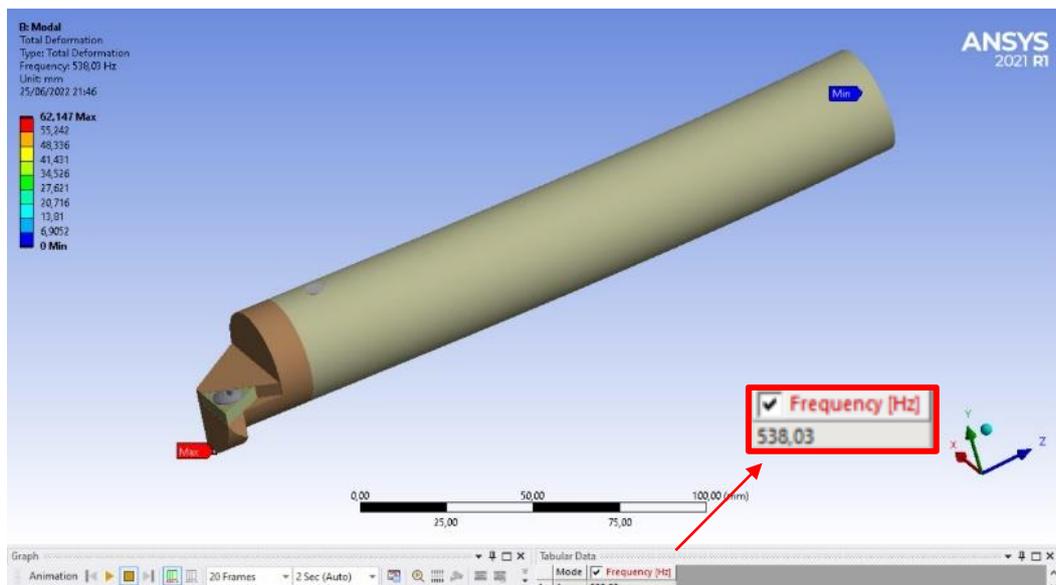
Operating speed yang digunakan pada penelitian ini yaitu pada frekuensi 136 – 485 Hz. *Regular boring bar* dengan L/D 6 memiliki nilai deformasi maksimum arah sumbu y negatif sebesar 0,080277 mm dan frekuensi natural sebesar 538,03 Hz. Gambar 4.5 di atas merupakan grafik rasio amplitudo (Y/Yst) terhadap frekuensi *regular boring bar*. Kemudian didapatkan bode diagram respon getaran sistem utama tanpa DVA dengan variasi panjang *boring bar* ketika diberikan putaran *spindle* sebesar 36 rpm hingga 2000 rpm sehingga didapatkan rentang frekuensi 0-1000 Hz seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.5. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa L/D 6 memiliki *dimensionless frequency response* tertinggi yaitu sebesar 3,532 pada frekuensi 538 Hz, sedangkan L/D 12 memiliki *dimensionless frequency response* terendah sebesar 0,3471 pada frekuensi 150 Hz.

4.2.1.3 Analisis Respon Getaran Boring Bar Tanpa DVA Sumbu Z (Axial)

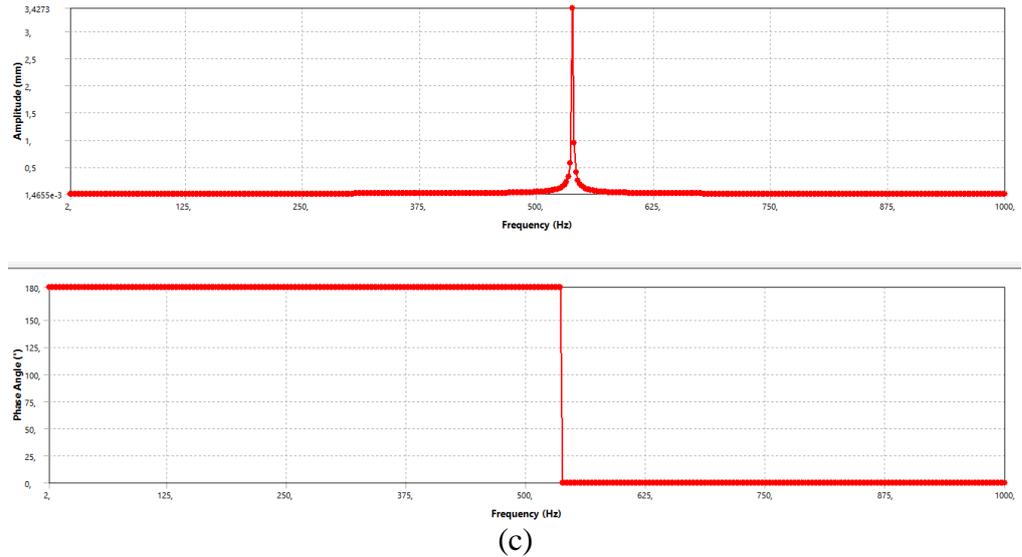
Pada penelitian ini akan menampilkan gambar 4.6 yang menunjukkan hasil deformasi pada simulasi dari *harmonic response* dengan menggunakan *software ANSYS Workbench* hingga didapatkan hasil berupa *amplitude* dan *phase angle* pada rentang frekuensi yang diberikan. Berikut adalah *regular boring bar* dengan L/D 6 yang merupakan salah satu contoh deformasi dari 13 variasi L/D yang ada.



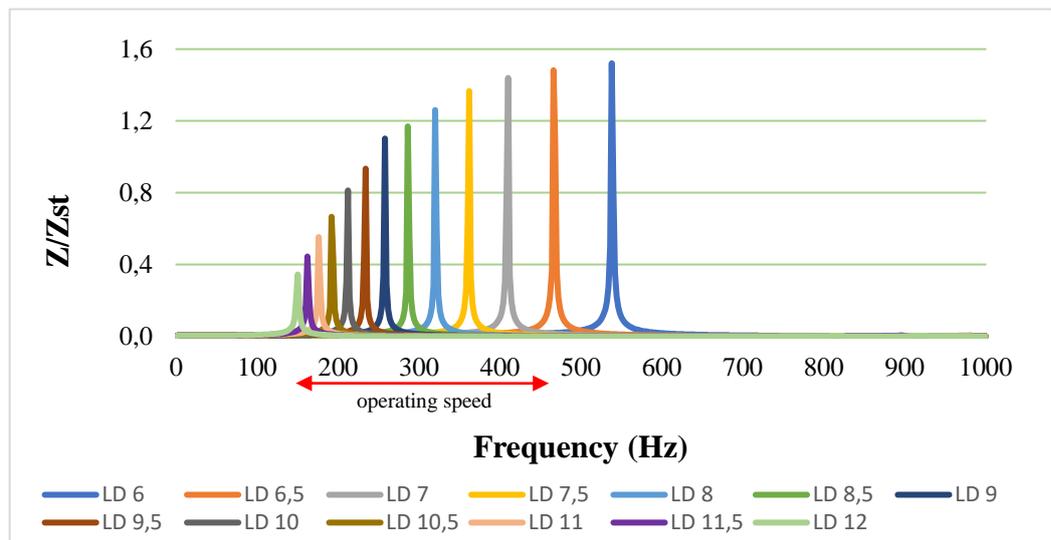
(a)



(b)



Gambar 4.6 Z-Axis L/D 6 Regular Boring Bar (a) Directional Deformation (b) Natural Frequency (c) Bode Diagram



Gambar 4.7 Vibration Response of Regular Boring Bar in Z-Axis Direction

Operating speed yang digunakan pada penelitian ini yaitu pada frekuensi 136 – 485 Hz. *Regular boring bar* dengan L/D 6 memiliki nilai deformasi maksimum arah sumbu z sebesar 0,011314 mm dan frekuensi natural sebesar 538,03 Hz. Gambar 4.7 di atas merupakan grafik rasio amplitudo (Z/Z_{st}) terhadap frekuensi *regular boring bar*. Kemudian didapatkan bode diagram respon getaran sistem utama tanpa DVA dengan variasi panjang *boring bar* ketika diberikan putaran *spindle* sebesar 36 rpm hingga 2000 rpm sehingga didapatkan rentang frekuensi 0-1000 Hz seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.7. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa L/D 6 memiliki *dimensionless frequency response* tertinggi yaitu sebesar 1,521 pada frekuensi 538 Hz, sedangkan L/D 12 memiliki *dimensionless frequency response* terendah sebesar 0,345 pada frekuensi 150 Hz.

Berdasarkan grafik respon getaran *boring bar* tanpa DVA pada sumbu x, y, dan z tersebut terlihat satu puncak resonansi yang semakin menurun seiring

meningkatnya rasio L/D boring bar. Selain itu juga dapat disimpulkan bahwa semakin kecil rasio *overhang length* (L/D) boring bar maka frekuensi natural akan semakin bergeser ke kanan. Hal tersebut terjadi karena semakin kecil rasio L/D maka nilai kekakuan dari boring bar tersebut akan semakin besar, sehingga frekuensi natural dari sistem tersebut juga semakin tinggi.

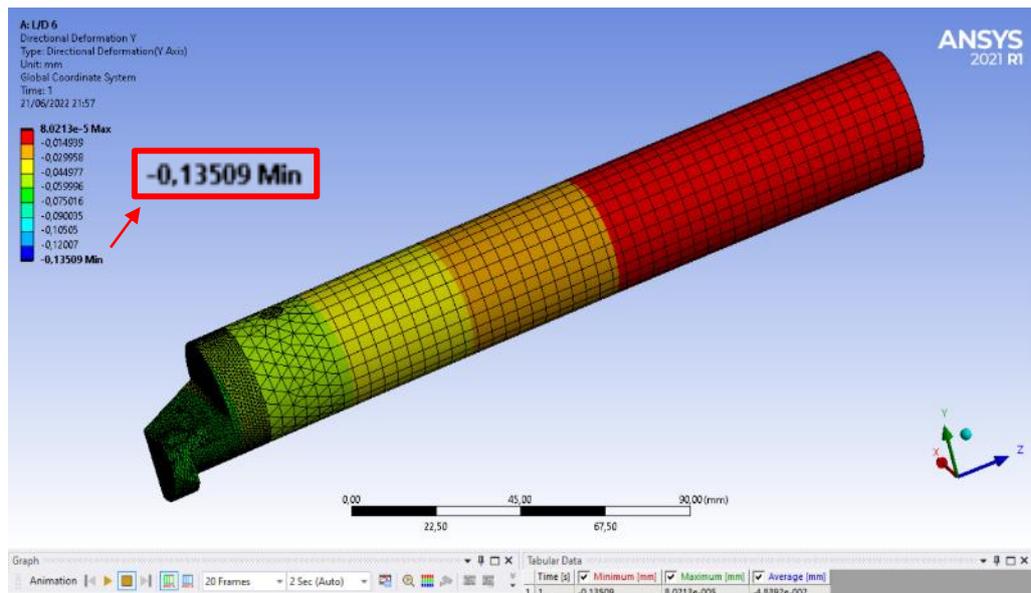
4.2.2 Respon Getaran Boring Bar Dengan DVA

Analisis respon getaran sistem utama (*boring bar*) dengan DVA dilakukan pada arah sumbu x , y , dan z . Sistem utama pada penelitian ini merupakan *boring bar* berlubang (dengan *cavity*) kemudian diberi penambahan DVA. Simulasi dilakukan untuk mendapatkan respon getaran sistem utama dalam bentuk rasio amplitudo terhadap frekuensi yang kemudian di-plot untuk mendapatkan bode diagram. Berikut merupakan gambar *deformation of frequency response* yang didapatkan dari *software* ANSYS serta bode diagram hasil simulasi respon getaran sistem utama dengan adanya penambahan DVA.

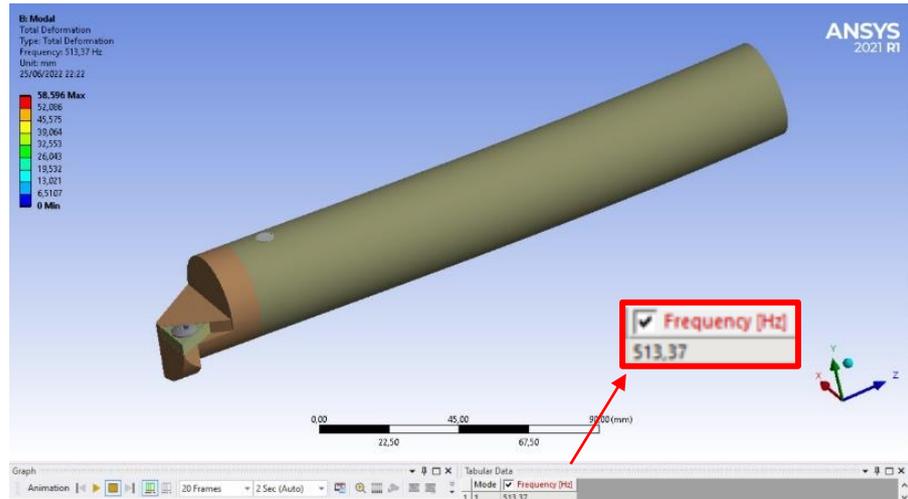
Variasi desain *boring bar* memiliki respon getaran yang berbeda dari respon getaran yang terjadi pada *customized boring bar* dengan DVA. Respon getaran terhadap sumbu x , y , dan z memiliki banyak perbedaan dari nilai respon getaran yang didapatkan.

4.2.2.1 Analisis Respon Getaran Boring Bar Dengan Natural Rubber DVA

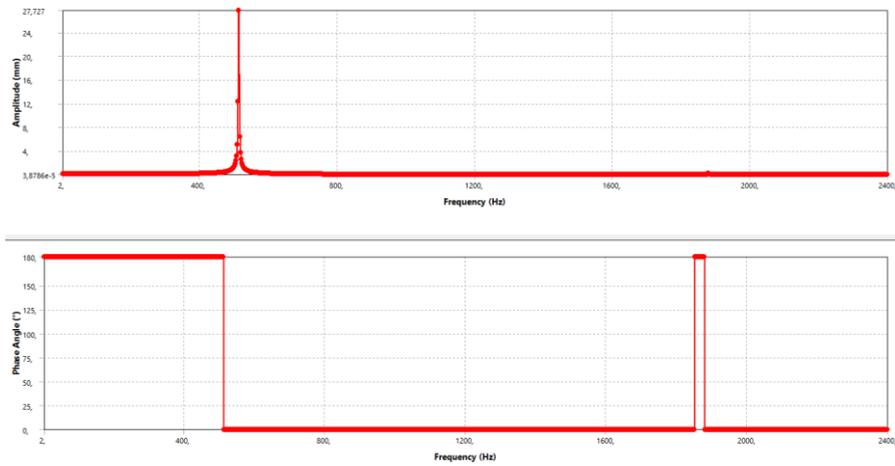
Pada penelitian ini akan menampilkan gambar 4.8 yang menunjukkan salah satu contoh hasil deformasi pada simulasi dari *harmonic response* dengan menggunakan *software* ANSYS *Workbench* hingga didapatkan hasil berupa *amplitude* dan *phase angle* pada rentang frekuensi yang diberikan. Berikut adalah *boring bar* dengan penambahan *natural rubber DVA* dimana L/D 6 yang merupakan salah satu contoh deformasi arah sumbu y dari 13 variasi L/D yang ada.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.8 Y-Axis L/D 6 Boring Bar with Natural Rubber DVA (a) Directional Deformation (b) Natural Frequency (c) Bode Diagram

Tabel 4.1 Vibration Response of Regular Boring Bar and Boring Bar With Natural Rubber DVA (a) X-Axis (b) Y-Axis (c) Z-Axis

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 192 mm		
6	257,78	36	485	0,23485	0,39766	-69,32510113
	257,78	55	482	0,21917	0,34957	-59,49719396
	257,78	75	478	0,20556	0,31213	-51,84374392
	257,78	105	473	0,19365	0,28217	-45,71133488
	257,78	130	468	0,17832	0,24698	-38,50381337
	257,78	185	459	0,16155	0,21222	-31,36490251
	257,78	250	447	0,14198	0,1759	-23,89068883
	257,78	370	426	0,11704	0,1351	-15,43062201
	257,78	630	380	0,087535	0,093369	-6,664762666
	257,78	920	328	0,070106	0,071464	-1,937066728
	257,78	1250	269	0,059092	0,058534	0,944290259
	257,78	2000	136	0,047481	0,045603	3,955266317

(a)

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 192 mm		
6	257,78	36	485	0,37317	0,63743	-70,81491009
	257,78	55	482	0,34828	0,55841	-60,3336396
	257,78	75	478	0,32671	0,49728	-52,20838052
	257,78	105	473	0,30784	0,44858	-45,71855509
	257,78	130	468	0,2836	0,39167	-38,10648801
	257,78	185	459	0,2571	0,33572	-30,57954103
	257,78	250	447	0,22622	0,27755	-22,69030148
	257,78	370	426	0,18693	0,21257	-13,71636441
	257,78	630	380	0,14056	0,14648	-4,21172453
	257,78	920	328	0,1132	0,11194	1,113074205
	257,78	1250	269	0,095933	0,09161	4,506270001
257,78	2000	136	0,077742	0,071309	8,274806411	

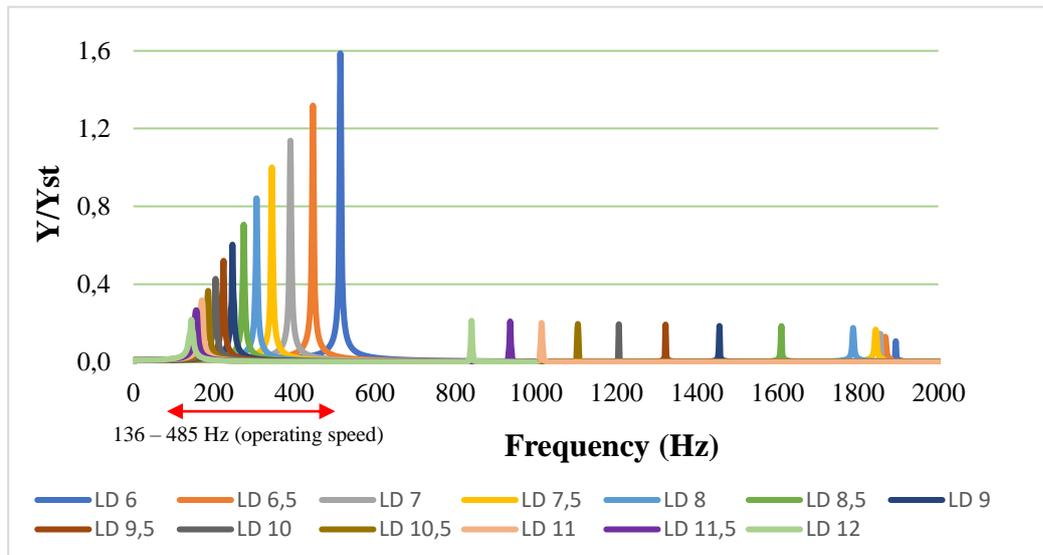
(b)

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 192 mm		
6	257,78	36	485	0,029089	0,04785	-64,49517
	257,78	55	482	0,027178	0,042063	-54,76856281
	257,78	75	478	0,02552	0,037559	-47,17476489
	257,78	105	473	0,024068	0,033954	-41,07528669
	257,78	130	468	0,0222	0,029721	-33,87837838
	257,78	185	459	0,020156	0,025539	-26,70668783
	257,78	250	447	0,017772	0,021169	-19,11433716
	257,78	370	426	0,014732	0,016261	-10,37876731
	257,78	630	380	0,011136	0,011241	-0,942887931
	257,78	920	328	0,0090102	0,0086057	4,489356507
	257,78	1250	269	0,0076664	0,0070503	8,036366482
257,78	2000	136	0,0062491	0,0054946	12,07373862	

(c)

Respon getaran yang terjadi di sumbu x, y, dan z pada frekuensi operasional 136 – 485 Hz *customized boring bar* dengan penambahan *natural rubber DVA* mampu meredam *chatter* yaitu pada frekuensi 328, 269, serta 136 Hz. Selain itu, berdasarkan tabel tersebut dapat terlihat bahwa semakin besar putaran *spindle* yang digunakan, maka frekuensi *chatter* akan semakin menurun sehingga respon getaran yang dihasilkan juga menurun. Pada tabel tersebut, yang berwarna merah merupakan respon getaran yang tidak tereduksi, sedangkan yang berwarna hijau merupakan respon getaran yang tereduksi oleh adanya penambahan *natural rubber DVA*. Terlihat juga bahwa semakin besar putaran *spindle* yang digunakan, maka reduksi respon getaran yang dihasilkan juga semakin meningkat. Hal ini kemudian akan dijelaskan pada sub-bab selanjutnya terkait reduksi respon getaran yang dihasilkan. Untuk hasil respon getaran variasi L/D lainnya dapat dilihat pada lampiran.

Berikut di bawah ini merupakan contoh grafik dari respon getaran dengan adanya penambahan *natural rubber DVA* pada L/D 6 ke arah sumbu y. Dimana pada grafik tersebut merupakan perbandingan antara frekuensi natural dengan rasio amplitudo. Untuk grafik arah sumbu x dan z dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4.9 *Vibration Response of Boring Bar with Natural Rubber DVA in Y-Axis Direction*

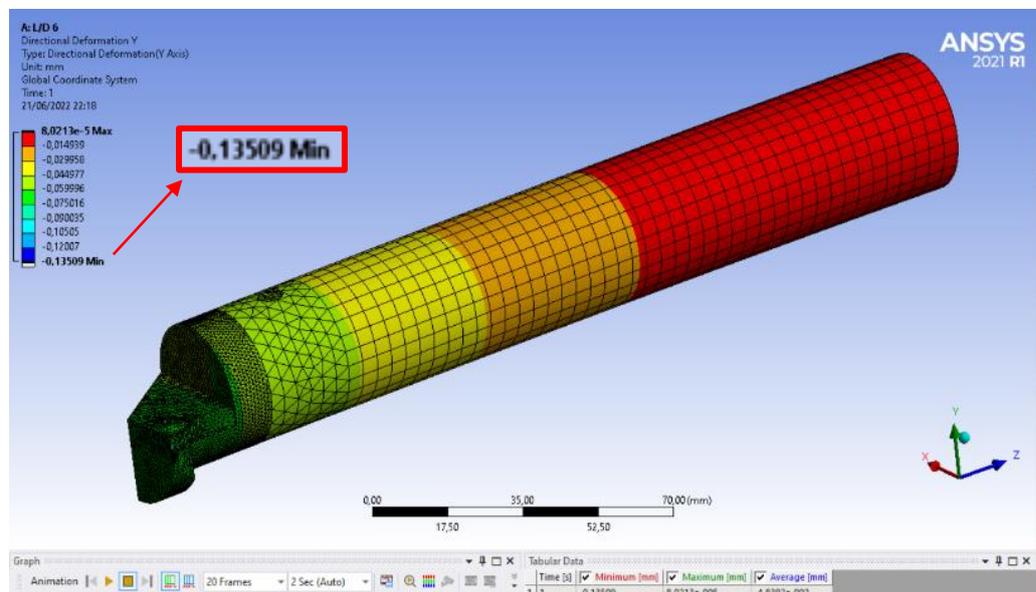
Customized boring bar dengan L/D 6 merupakan *boring bar* dengan *cavity* yang diberi penambahan *natural rubber* DVA dimana memiliki nilai deformasi maksimum arah sumbu y negatif sebesar 0,13509 mm dan frekuensi natural sebesar 513,37 Hz. Gambar 4.9 di atas merupakan grafik rasio amplitudo (Y/Yst) terhadap frekuensi *customized boring bar*. Kemudian didapatkan bode diagram respon getaran sistem utama dengan *natural rubber* DVA dengan variasi panjang *boring bar* ketika diberikan putaran *spindle* sebesar 36 rpm hingga 2000 rpm sehingga didapatkan rentang frekuensi 0-2000 Hz seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.9. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa untuk *peak* pertama L/D 6 memiliki *dimensionless frequency response* tertinggi yaitu sebesar 1,5869 pada frekuensi 514 Hz, sedangkan L/D 12 memiliki *dimensionless frequency response* terendah sebesar 0,2177 pada frekuensi 144 Hz. Selain itu, untuk *peak* kedua L/D 12 memiliki *dimensionless frequency response* tertinggi yaitu sebesar 0,21216 pada frekuensi 840 Hz, sedangkan L/D 6 memiliki *dimensionless frequency response* terendah sebesar 0,10108 pada frekuensi 1870 Hz.

Untuk grafik respon getaran *boring bar* dengan penambahan *natural rubber* DVA arah sumbu x dan z memiliki *trend* yang sama dengan grafik di atas. Perbedaan hanya terdapat pada besarnya rasio amplitudo yang dipengaruhi oleh hasil deformasi pada simulasi ANSYS yang dilakukan. Selain itu, besarnya frekuensi natural pada setiap variasi L/D juga saling mendekati. Berdasarkan grafik respon getaran *boring bar* dengan penambahan *natural rubber* DVA pada sumbu x, y, dan z terlihat dua puncak resonansi dimana untuk *peak* (rasio amplitudo) pertama semakin menurun seiring bertambahnya rasio L/D *boring bar*, namun untuk *peak* (rasio amplitudo) kedua semakin meningkat seiring bertambahnya rasio L/D *boring bar*. Hal ini juga sesuai dengan hasil simulasi ANSYS yang dilakukan pada *harmonic response* bahwa pada bode diagram yang dihasilkan terdapat dua patahan *phase angle* dimana menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan sistem DVA maka akan terdapat dua puncak/*peak* pada sistem tersebut yang berarti dapat meredam getaran yang dihasilkan. Selain

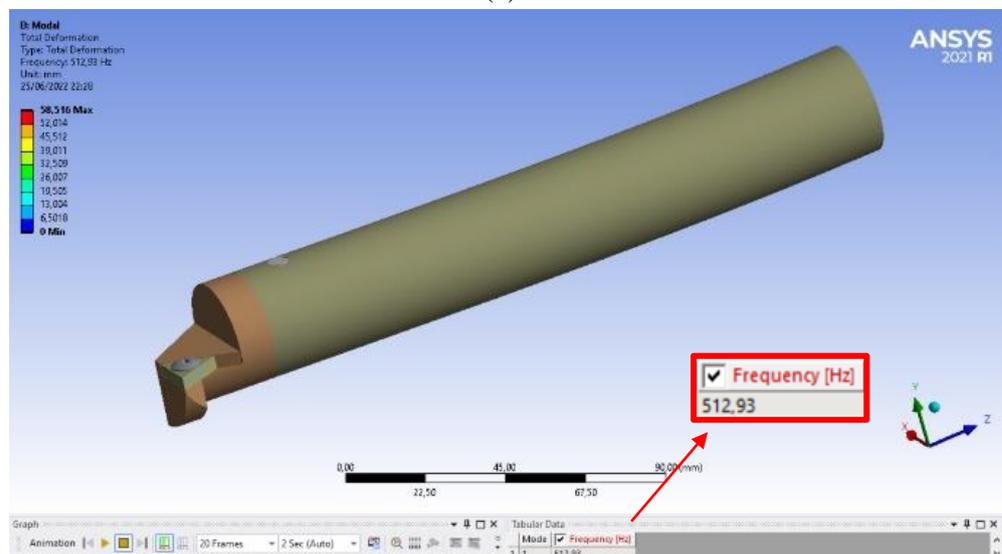
itu juga dapat disimpulkan bahwa semakin kecil rasio *overhang length* (L/D) *boring bar* maka frekuensi natural akan semakin bergeser ke kanan. Hal tersebut terjadi karena semakin kecil rasio L/D maka nilai kekakuan dari *boring bar* tersebut akan semakin besar, sehingga frekuensi natural dari sistem tersebut juga semakin tinggi.

4.2.2.2 Analisis Respon Getaran Boring Bar Dengan Neophrene Rubber DVA

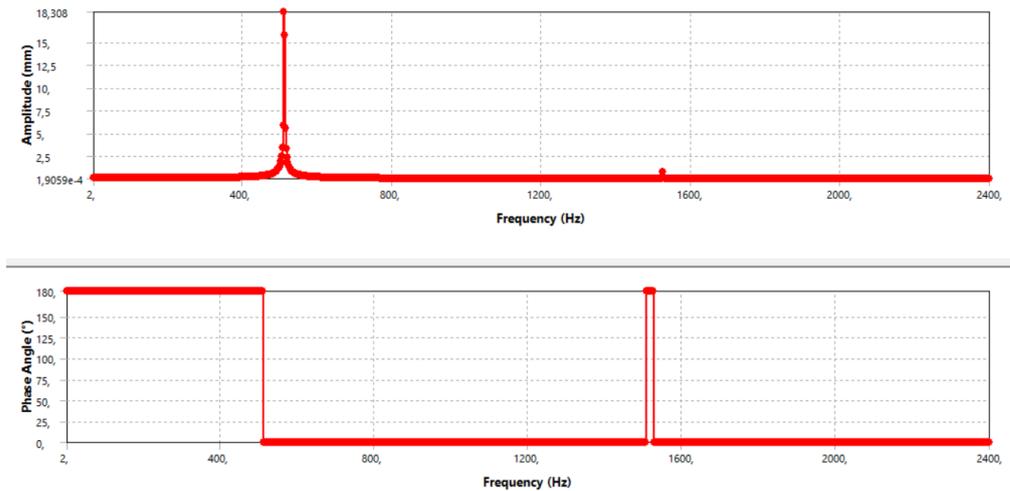
Pada penelitian ini akan menampilkan gambar 4.10 yang menunjukkan hasil deformasi pada simulasi dari *harmonic response* dengan menggunakan *software ANSYS Workbench* hingga didapatkan hasil berupa *amplitude* dan *phase angle* pada rentang frekuensi yang diberikan. Berikut adalah *boring bar* dengan penambahan *neophrene rubber DVA* dimana L/D 6 yang merupakan salah satu contoh deformasi arah sumbu y dari 13 variasi L/D yang ada.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.10 Y-Axis L/D 6 Boring Bar with Neophrene Rubber DVA (a) Directional Deformation (b) Natural Frequency (c) Bode Diagram

Tabel 4.2 Vibration Response of Regular Boring Bar and Boring Bar With Neophrene Rubber DVA (a) X-Axis (b) Y-Axis (c) Z-Axis

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 192 mm		
6	257,78	36	485	0,23485	0,40314	-71,65850543
	257,78	55	482	0,21917	0,35368	-61,37245061
	257,78	75	478	0,20556	0,31532	-53,39560226
	257,78	105	473	0,19365	0,2847	-47,01781565
	257,78	130	468	0,17832	0,24884	-39,54688201
	257,78	185	459	0,16155	0,21352	-32,16960693
	257,78	250	447	0,14198	0,17672	-24,46823496
	257,78	370	426	0,11704	0,13551	-15,7809296
	257,78	630	380	0,087535	0,093501	-6,81555949
	257,78	920	328	0,070106	0,071508	-1,999828831
	257,78	1250	269	0,059092	0,058544	0,927367495
257,78	2000	136	0,047481	0,045591	3,980539584	

(a)

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 192 mm		
6	257,78	36	485	0,37317	0,64651	-73,24811748
	257,78	55	482	0,34828	0,56519	-62,28034914
	257,78	75	478	0,32671	0,50251	-53,80918858
	257,78	105	473	0,30784	0,45272	-47,06340956
	257,78	130	468	0,2836	0,39469	-39,17136812
	257,78	185	459	0,2571	0,33782	-31,39634384
	257,78	250	447	0,22622	0,27886	-23,26938379
	257,78	370	426	0,18693	0,21322	-14,06408816
	257,78	630	380	0,14056	0,14669	-4,361126921
	257,78	920	328	0,1132	0,11201	1,051236749
	257,78	1250	269	0,095933	0,091625	4,490634088
257,78	2000	136	0,077742	0,07129	8,299246225	

(b)

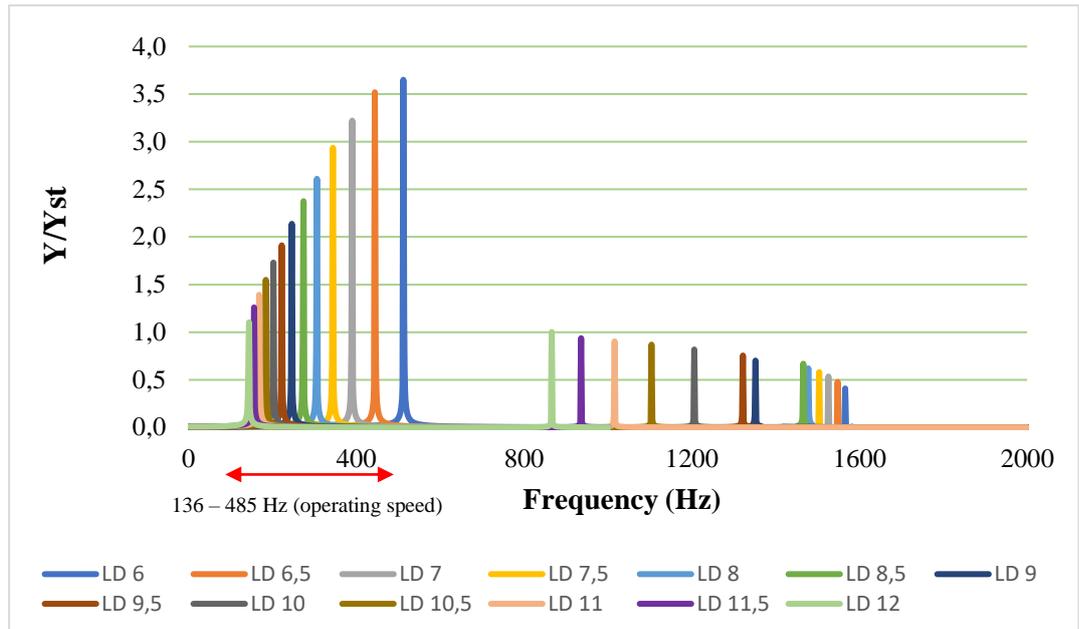
Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 192 mm		
6	257,78	36	485	0,029089	0,048503	-66,74000481
	257,78	55	482	0,027178	0,042552	-56,5678122
	257,78	75	478	0,02552	0,037937	-48,65595611
	257,78	105	473	0,024068	0,034254	-42,32175503
	257,78	130	468	0,0222	0,02994	-34,86486486
	257,78	185	459	0,020156	0,025691	-27,46080572
	257,78	250	447	0,017772	0,021263	-19,64325906
	257,78	370	426	0,014732	0,016307	-10,69101276
	257,78	630	380	0,011136	0,011254	-1,059626437
	257,78	920	328	0,0090102	0,008608	4,463829882
	257,78	1250	269	0,0076664	0,0070486	8,058541167
257,78	2000	136	0,0062491	0,0054905	12,13934807	

(c)

Respon getaran yang terjadi di sumbu x, y, dan z pada frekuensi operasional 136 – 485 Hz *customized boring bar* dengan penambahan *neoprene rubber* DVA mampu meredam *chatter* yaitu pada frekuensi 328, 269, serta 136 Hz. Sama seperti *natural rubber* DVA, berdasarkan tabel tersebut dapat terlihat bahwa semakin besar putaran *spindle* yang digunakan, maka frekuensi *chatter* akan semakin menurun sehingga respon getaran yang dihasilkan juga menurun. Pada tabel tersebut, yang berwarna merah merupakan respon getaran yang tidak dapat tereduksi, sedangkan yang berwarna hijau merupakan respon getaran yang tereduksi oleh adanya penambahan *neoprene rubber* DVA. Terlihat juga bahwa semakin besar putaran *spindle* yang digunakan, maka reduksi respon getaran yang dihasilkan juga semakin meningkat. Hal ini kemudian akan dijelaskan pada sub-bab selanjutnya terkait reduksi respon getaran yang dihasilkan. Untuk hasil respon getaran variasi L/D lainnya dapat dilihat pada lampiran.

Berdasarkan tabel respon getaran dari *regular boring bar*, *boring bar* dengan adanya penambahan *natural rubber* DVA, serta *boring bar* dengan adanya penambahan *neoprene rubber* DVA dapat terlihat bahwa respon getaran yang dihasilkan dengan adanya penambahan DVA memiliki nilai yang hampir sama untuk *natural rubber* maupun *neoprene rubber*. Hal ini diakibatkan karena nilai massa jenis yang hampir sama sehingga membuat nilai deformasinya yang tidak berbeda secara signifikan dan menghasilkan nilai respon getaran yang hampir serupa.

Berikut di bawah ini merupakan contoh grafik dari respon getaran dengan adanya penambahan *neoprene rubber* DVA pada L/D 6 ke arah sumbu y. Dimana pada grafik tersebut merupakan perbandingan antara frekuensi natural dengan rasio amplitudo. Untuk grafik arah sumbu x dan z dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4.11 *Vibration Response of Boring Bar with Neophrene Rubber DVA in Y-Axis Direction*

Customized boring bar dengan L/D 6 merupakan *boring bar* dengan *cavity* yang diberi penambahan *neophrene rubber* DVA dimana memiliki nilai deformasi maksimum arah sumbu y negatif sebesar 0,13509 mm dan frekuensi natural sebesar 512,93 Hz. Gambar 4.11 di atas merupakan grafik rasio amplitudo (Y/Yst) terhadap frekuensi *customized boring bar*. Kemudian didapatkan bode diagram respon getaran sistem utama dengan *neophrene rubber* DVA dengan variasi panjang *boring bar* ketika diberikan putaran *spindle* sebesar 36 rpm hingga 2000 rpm sehingga didapatkan rentang frekuensi 0-2000 Hz seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.11. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa untuk *peak* pertama L/D 6 memiliki *dimensionless frequency response* tertinggi yaitu sebesar 3,65 pada frekuensi 512 Hz, sedangkan L/D 12 memiliki *dimensionless frequency response* terendah sebesar 1,103 pada frekuensi 144 Hz. Selain itu, untuk *peak* kedua L/D 12 memiliki *dimensionless frequency response* tertinggi yaitu sebesar 1,001 pada frekuensi 866 Hz, sedangkan L/D 6 memiliki *dimensionless frequency response* terendah sebesar 0,4091 pada frekuensi 1566 Hz.

Tidak berbeda jauh dengan *natural rubber* DVA, untuk grafik respon getaran *boring bar* dengan penambahan *neophrene rubber* DVA arah sumbu x dan z memiliki *trend* yang sama dengan grafik di atas. Perbedaan hanya terdapat pada besarnya rasio amplitudo yang dipengaruhi oleh hasil deformasi pada simulasi ANSYS yang dilakukan. Selain itu, besarnya frekuensi natural pada setiap variasi L/D juga saling mendekati. Sama seperti *natural rubber* DVA, grafik respon getaran *boring bar* dengan penambahan *neophrene rubber* DVA pada sumbu x, y, dan z terlihat dua puncak/*peak* dimana untuk *peak* (rasio amplitudo) pertama semakin menurun seiring bertambahnya rasio L/D *boring bar*, namun untuk *peak* (rasio amplitudo) kedua semakin meningkat seiring bertambahnya rasio L/D *boring bar*. Hal ini juga sesuai dengan hasil simulasi ANSYS yang dilakukan pada *harmonic response* bahwa pada bode diagram

yang dihasilkan terdapat dua patahan *phase angle* dimana menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan sistem DVA maka akan terdapat dua puncak/*peak* pada sistem tersebut yang berarti dapat meredam getaran yang dihasilkan. Selain itu juga dapat disimpulkan bahwa semakin kecil rasio *overhang length* (L/D) *boring bar* maka frekuensi natural akan semakin bergeser ke kanan. Hal tersebut terjadi karena semakin kecil rasio L/D maka nilai kekakuan dari *boring bar* tersebut akan semakin besar, sehingga frekuensi natural dari sistem tersebut juga semakin tinggi.

4.3 Analisis Reduksi Getaran

Analisis reduksi getaran pada *customized boring bar* dengan *cavity* 50 mm yang diberi penambahan *sphere rubber* DVA meliputi 2 variasi karet yaitu *natural rubber* dan *neophrene rubber* DVA terhadap *regular boring bar* pada frekuensi 0 – 2000 Hz. Analisis reduksi getaran dilakukan pada kecepatan putaran *spindle* 36, 55, 75, 105, 130, 185, 250, 370, 630, 920, 1250, dan 2000 rpm dengan menggunakan variasi *overhang length* (L/D) 6 hingga 12 pada interval 0,5.

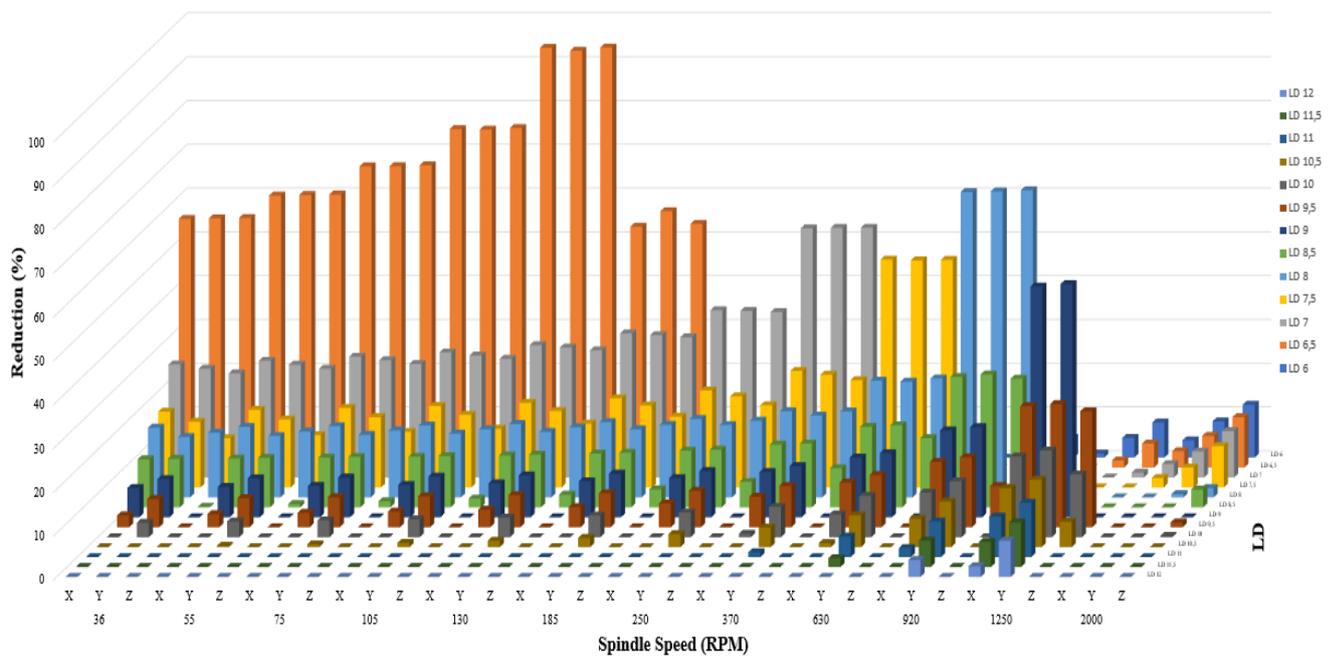
Berdasarkan tabel respon getaran yang dijelaskan pada sub-bab sebelumnya dan pada tabel yang terdapat di lampiran, dapat diketahui bahwa dengan menggunakan variasi putaran *spindle* yang ada, hasil reduksi mulai dari L/D 6 akan signifikan meningkat hingga pada L/D 8 dan kemudian hasil reduksi mulai menurun atau DVA tidak lagi dapat bekerja sesuai fungsinya dengan baik. Hal tersebut dapat dilihat berdasarkan hasil reduksi pada variasi L/D di atas L/D 8 bahwa jumlah variasi yang tereduksi akan semakin menurun seiring bertambahnya rasio L/D. Selain itu, jika ditinjau pada beberapa variasi L/D, terlihat bahwa seiring bertambahnya putaran *spindle*, maka nilai reduksi akan semakin meningkat hingga dengan batas pada titik tertentu. Berikut merupakan analisis berdasarkan jenis *rubber* DVA yang digunakan.

4.3.1 Analisis Reduksi Getaran Dengan Natural Rubber DVA

Tabel 4.3 *Vibration Reduction with Natural Rubber DVA*

Spindle Speed (RPM)	Axis	LD 6	LD 6,5	LD 7	LD 7,5	LD 8	LD 8,5	LD 9	LD 9,5	LD 10	LD 10,5	LD 11	LD 11,5	LD 12
36	X	-69,33	56,79	25,81	17,32	15,92	10,96	6,69	2,69	-6,14	-14,61	-28,96	-48,58	-79,79
	Y	-70,81	56,92	24,84	15,00	13,79	11,11	8,71	6,45	3,31	-0,06	-5,63	-13,31	-26,63
	Z	-64,50	56,99	23,80	11,24	14,78	0,12	-2063,56	-39,94	-115,40	-320,72	-3046,81	-201,93	-42,48
55	X	-59,50	62,12	26,66	17,73	16,09	11,16	6,93	3,00	-6,62	-13,83	-27,64	-46,34	-75,55
	Y	-60,33	62,23	25,77	15,52	14,04	11,31	8,90	6,65	3,57	0,29	-5,06	-12,32	-24,58
	Z	-54,77	62,36	24,83	11,96	15,04	0,76	-2039,42	-37,56	-107,83	-284,89	-20692,15	-235,87	-51,86
75	X	-51,84	68,78	27,57	18,16	16,27	11,35	7,17	3,29	-5,10	-13,07	-26,38	-44,19	-71,60
	Y	-52,21	68,82	26,78	16,05	14,30	11,51	9,09	6,86	3,84	0,64	-4,51	-11,40	-22,71
	Z	-47,17	69,02	25,93	12,69	15,30	1,39	-2016,09	-35,30	-100,87	-255,21	-4510,45	-277,53	-62,31
105	X	-45,71	77,31	28,57	18,60	16,46	11,55	7,40	3,59	-4,60	-12,32	-25,15	-42,16	-67,89
	Y	-45,72	77,19	27,87	16,61	14,57	11,72	9,28	7,05	4,09	0,97	-3,98	-10,52	-21,00
	Z	-41,08	77,53	27,10	13,43	15,57	2,01	-1993,56	-33,16	-94,48	-230,23	-1995,19	-329,88	-74,07
130	X	-38,50	95,86	30,24	19,31	16,76	11,86	7,76	4,03	-3,87	-11,25	-23,40	-39,27	-62,75
	Y	-38,11	95,17	29,68	17,47	14,98	12,03	9,57	7,36	4,47	1,46	-3,23	-9,29	-18,68
	Z	-33,88	95,90	29,04	14,58	15,99	2,92	-1961,05	-30,14	-85,80	-199,37	-1063,47	-439,70	-94,67
185	X	-31,36	55,01	32,90	20,35	17,19	12,28	8,24	4,60	-2,92	-9,88	-21,20	-35,70	-56,58
	Y	-30,58	58,55	32,50	18,71	15,58	12,47	9,96	7,75	4,96	2,09	-2,28	-7,78	-15,98
	Z	-26,71	55,67	32,02	16,17	16,58	4,11	-1920,06	-26,43	-75,63	-267,13	-638,56	-705,66	-129,67
250	X	-23,89	-698,53	38,20	22,15	17,94	12,95	8,96	5,45	-1,55	-7,96	-18,15	-30,88	-48,56
	Y	-22,69	-487,36	38,05	20,80	16,55	13,16	10,56	8,34	5,66	2,98	-0,98	-5,78	-12,58
	Z	-19,11	-682,61	37,76	18,76	17,54	5,84	-1862,91	-21,45	-62,80	-131,42	-384,31	-2652,54	-208,92
370	X	-15,43	-87,79	56,89	26,61	19,69	14,32	10,32	6,97	0,78	-4,75	-13,24	-23,40	-36,72
	Y	-13,72	-92,54	57,01	25,76	18,68	14,57	11,71	9,43	6,91	4,47	1,11	-2,73	-7,77
	Z	-10,38	-82,94	57,03	24,52	19,63	8,93	-1788,99	-13,77	-44,67	-88,53	-204,98	-783,30	-639,92
630	X	-6,66	-19,64	-159,19	52,04	26,67	18,39	13,63	10,22	5,21	0,94	-5,06	-11,71	-19,64
	Y	-4,21	-18,91	-175,20	51,86	26,43	18,74	14,66	11,93	9,44	7,27	4,59	2,03	-1,08
	Z	-0,94	-14,93	-153,48	51,97	27,16	15,82	-1599,88	-1,58	-19,84	-40,96	-81,97	-160,10	-396,89
920	X	-1,94	-6,50	-18,33	-87,61	69,74	29,76	19,83	14,91	10,16	6,49	2,08	-2,38	-7,24
	Y	1,11	-4,66	-17,75	-91,61	69,90	30,33	20,59	15,95	12,77	10,39	8,11	6,03	3,87
	Z	4,49	-0,94	-13,64	-83,25	70,14	29,39	-1401,98	9,41	-2,11	-13,59	-31,63	-57,11	-97,38
1250	X	0,94	-0,94	-4,64	-11,83	-29,76	-306,58	52,69	27,64	18,43	13,43	9,23	5,75	2,44
	Y	4,51	1,62	-2,92	-10,78	-30,54	-377,00	53,24	28,14	19,77	15,41	12,41	10,20	8,26
	Z	8,04	5,49	1,14	-6,84	-27,33	-300,23	-740,81	26,49	14,33	5,78	-4,06	-14,98	-28,37
2000	X	3,96	3,73	3,06	2,15	-0,50	-0,26	-1,20	-3,16	-4,49	-7,77	-12,23	-23,61	-70,44
	Y	8,27	7,25	5,94	4,58	0,75	-0,53	-1,94	-3,92	-5,88	-9,19	-14,28	-26,60	-76,54
	Z	12,07	11,51	10,60	9,48	2,16	4,08	-1656,87	1,10	0,29	-3,41	-8,17	-20,47	-67,89

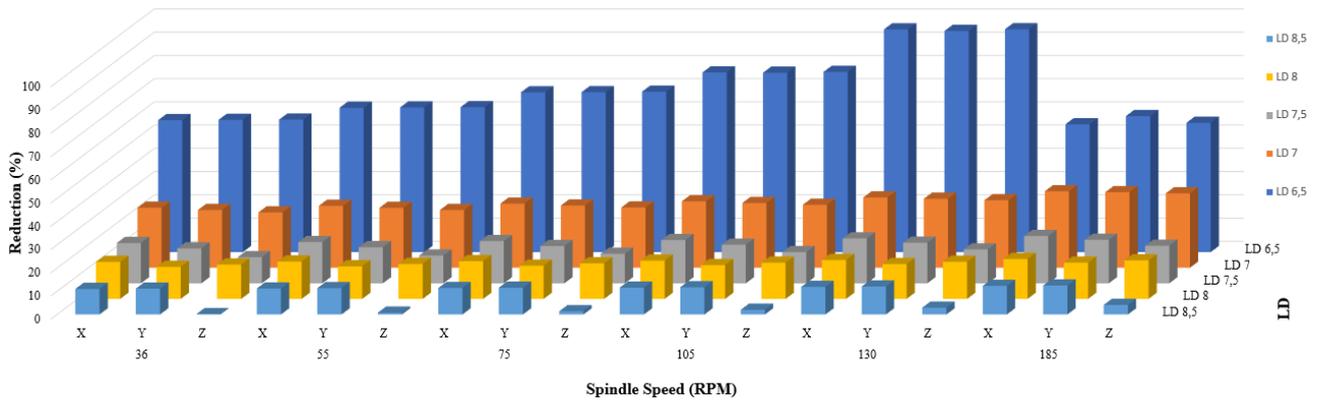
Pada tabel 4.3 di atas merupakan hasil reduksi getaran *boring bar* dengan penambahan *natural rubber* DVA pada sumbu x, y, dan z dalam persentase reduksi. Pada tabel tersebut terdapat warna hijau yang mana DVA dapat mereduksi, sedangkan yang warna merah merupakan DVA tidak mereduksi pada sumbu tersebut. Berdasarkan tabel tersebut, dapat terlihat bahwa sumbu y (tangensial) dapat mereduksi pada *cutting parameter* dan variasi *overhang length* yang terbanyak dibandingkan sumbu x dan z yaitu total 103 daerah hijau dari 156 variasi yang ada pada setiap sumbu tersebut. Untuk menganalisis kualitas peredaman respon getaran sistem utama oleh DVA, diilustrasikan grafik yang menunjukkan pengaruh DVA pada variasi dimana DVA dapat mereduksi getaran sistem utama pada gambar 4.12 di bawah ini.



Gambar 4.12 Diagram of The Effect of Natural Rubber DVA in Reducing The Main System Vibration Response on The Reduced Variation

Bila kita amati secara keseluruhan data pada gambar 4.12 di atas, reduksi respon getaran mempunyai karakteristik dimana di beberapa variasi L/D sistem utama membutuhkan semakin besar putaran *spindle* untuk mencapai reduksi optimum, sebagai contoh pada L/D 6,5 mereduksi sebesar 62,12% pada 55 rpm, L/D 6,5 mereduksi sebesar 68,78% pada 75 rpm, L/D 6,5 mereduksi sebesar 77,31% pada 105 rpm, dan L/D 6,5 mereduksi optimum sebesar 95,86% pada 130 rpm di sumbu x. Hal ini membuktikan bahwa *sphere rubber* DVA bekerja dengan baik bila dipasangkan pada sistem utama yang dioperasikan pada kecepatan putaran *spindle* tertentu dan beberapa variasi L/D saja.

Berdasarkan diagram batang pengaruh DVA dalam mereduksi respon getaran sistem utama pada variasi yang tereduksi tersebut, didapatkan hasil berupa 52 variasi yang mereduksi getaran pada sumbu x, y, dan z dari 156 variasi yang ada dan didapatkan diagram batang seperti gambar di bawah ini.



Gambar 4.13 Diagram of The Effect of Natural Rubber DVA in Reducing The Vibration Response of The Main System at Reduced Variations in All Axes

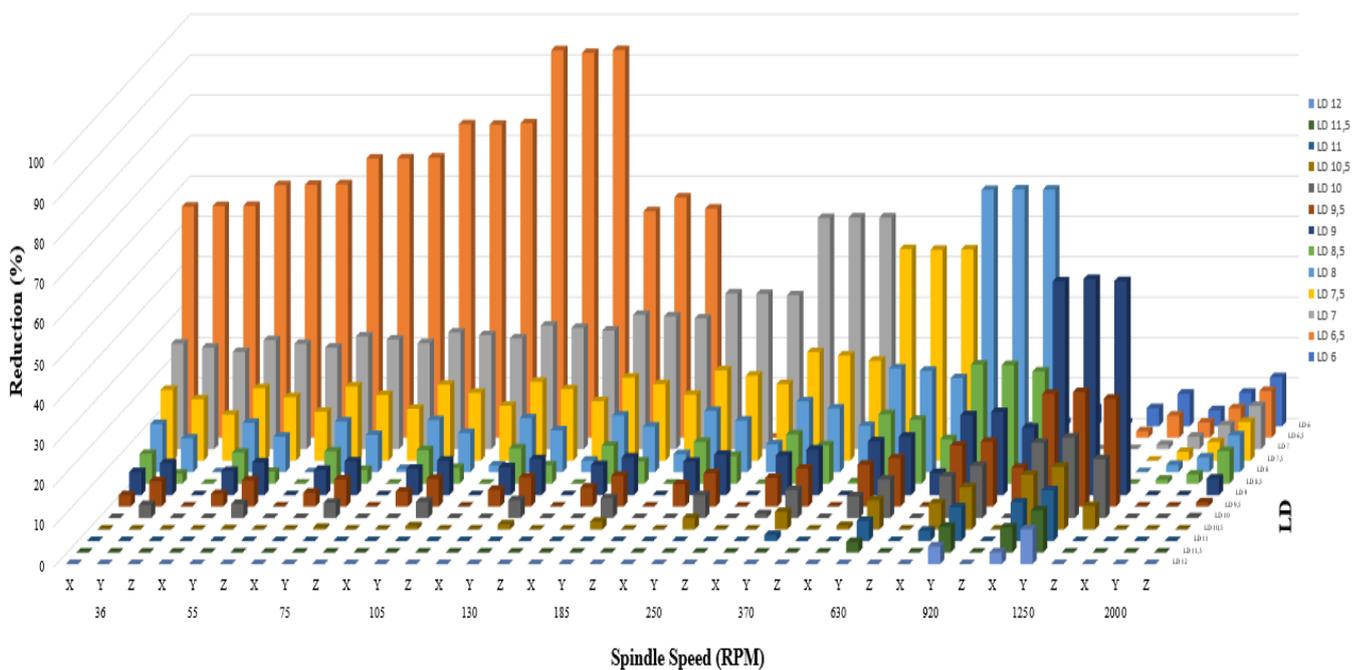
Berdasarkan gambar 4.13, DVA memiliki performa yang stabil dalam mereduksi respon getaran *boring bar* pada L/D 6,5 hingga 8,5 dimana respon getaran *boring bar* teredam pada seluruh sumbu dengan 6 variasi kecepatan putaran *spindle*, dimana reduksi mulai dari 0,12% hingga 95,9%. Sedangkan DVA memiliki performa terbaik dalam mereduksi respon getaran *boring bar* pada variasi L/D 6,5 ketika diberi putaran *spindle* sebesar 185 rpm, dengan reduksi sebesar 95,9% pada sumbu z, sehingga dapat disimpulkan bahwa meskipun DVA mereduksi dengan relatif stabil pada L/D 6,5 hingga 8,5, DVA justru melakukan peredaman terbaik pada L/D 6,5 dengan putaran *spindle* sebesar 185 rpm. Kendati demikian, pada pengaplikasiannya saat proses permesinan, penggunaan L/D 6,5 hingga 8,5 cukup baik karena respon getaran sudah teredam sejak putaran *spindle* yang rendah meskipun tidak mereduksi pada kecepatan putaran *spindle* tinggi. Untuk penggunaan variasi selain yang dapat mereduksi ke seluruh sumbu tersebut baiknya dihindari karena akan semakin menimbulkan getaran yang terlalu besar bahkan dapat merusak mesin dan benda kerja.

4.3.2 Analisis Reduksi Getaran Dengan Neoprene Rubber DVA

Tabel 4.4 Vibration Reduction with Neoprene Rubber DVA

Spindle Speed (RPM)	Axis	LD 6	LD 6,5	LD 7	LD 7,5	LD 8	LD 8,5	LD 9	LD 9,5	LD 10	LD 10,5	LD 11	LD 11,5	LD 12
36	X	-71,66	57,20	26,13	17,54	11,91	7,37	5,71	2,83	-5,90	-14,87	-27,29	-45,31	-76,39
	Y	-73,25	57,33	25,16	15,22	8,34	2,48	7,89	6,28	3,25	-0,28	-5,03	-11,81	-24,03
	Z	-86,74	57,40	24,11	11,38	-0,85	-15,37	-21,49	-39,68	-114,37	-325,36	-2920,63	-181,21	-34,15
55	X	-91,37	62,52	26,98	17,95	12,22	7,68	5,98	3,13	-5,38	-14,08	-26,03	-43,20	-72,31
	Y	-62,28	62,63	26,10	15,74	8,78	2,94	8,11	6,49	3,52	0,09	-4,47	-10,89	-22,14
	Z	-56,57	62,76	25,14	12,11	-0,01	-14,17	-20,07	-37,31	-106,86	-289,01	-1987,31	-213,35	-43,20
75	X	-83,40	69,14	27,90	18,38	12,53	7,98	6,25	3,43	-4,87	-13,31	-24,82	-41,17	-68,51
	Y	-53,81	69,18	27,11	16,27	9,23	3,41	8,33	6,70	3,79	0,44	-3,95	-10,02	-20,41
	Z	-48,66	69,38	26,25	12,84	0,82	-12,99	-18,70	-35,05	-99,95	-258,92	-4334,12	-251,82	-53,28
105	X	-47,02	77,61	28,90	18,82	12,85	8,29	6,52	3,72	-4,37	-12,56	-23,64	-39,24	-64,93
	Y	-47,06	77,48	28,21	16,83	9,67	3,87	8,55	6,91	4,05	0,79	-3,43	-9,21	-18,83
	Z	-42,32	77,82	27,43	13,59	1,64	-11,84	-17,38	-32,92	-93,60	-233,57	-1916,92	-302,42	-64,62
130	X	-39,55	95,92	30,58	19,55	13,34	8,75	6,92	4,16	-3,64	-11,47	-21,96	-36,51	-59,99
	Y	-39,17	95,25	30,02	17,70	10,36	4,56	8,88	7,22	4,43	1,30	-2,71	-8,05	-16,69
	Z	-34,86	95,97	29,37	14,74	2,86	-10,16	-15,47	-29,90	-84,98	-202,26	-1021,50	-406,45	-84,49
185	X	-32,17	96,07	33,25	20,59	14,03	9,37	7,45	4,74	-2,69	-10,08	-19,84	-33,13	-54,05
	Y	-31,40	99,50	32,86	18,95	11,29	5,49	9,32	7,63	4,93	1,94	-1,79	-6,65	-14,19
	Z	-27,46	96,72	32,37	16,35	4,48	-8,01	-13,08	-26,20	-74,88	-169,57	-613,16	-658,32	-118,24
250	X	-24,47	-584,61	38,57	22,39	15,14	10,33	8,25	5,59	-1,34	-8,13	-16,91	-28,58	-46,32
	Y	-23,27	-428,43	38,42	21,05	12,77	6,87	9,99	8,25	5,65	2,85	-0,53	-4,77	-11,04
	Z	-19,64	-580,97	38,13	18,96	6,90	-4,92	-9,74	-21,24	-62,14	-133,34	-368,83	-2502,37	-194,67
370	X	-15,73	-90,52	57,26	26,89	17,53	12,20	9,76	7,11	0,99	-4,87	-12,19	-21,50	-34,92
	Y	-14,06	-85,47	57,38	26,04	15,76	9,47	11,27	9,38	6,92	4,39	1,50	-1,90	-6,57
	Z	-10,69	-85,58	57,40	24,77	11,44	0,39	-4,27	-13,57	-44,14	-89,84	-186,49	-741,36	-610,26
630	X	-6,82	-20,04	-165,55	52,38	25,71	17,20	13,34	10,37	5,40	0,90	-4,31	-10,42	-18,46
	Y	-4,36	-19,30	-180,46	52,20	25,09	15,79	14,45	11,95	9,50	7,26	4,98	2,59	-0,31
	Z	-1,06	-15,28	-159,69	52,31	23,26	11,02	5,50	-1,39	-19,47	-41,60	-78,25	-151,04	-382,26
920	X	-2,00	-6,63	-18,66	-89,89	69,89	29,48	19,80	15,07	10,33	6,52	2,58	-1,55	-6,49
	Y	1,05	-4,78	-18,08	-94,00	70,00	29,36	20,60	16,05	12,88	10,44	8,33	6,41	4,35
	Z	4,46	-1,03	-13,93	-85,45	69,98	27,77	16,68	9,61	-1,83	-13,84	-30,00	-53,41	-93,44
1250	X	0,93	-0,98	-4,72	-12,00	-29,43	-322,78	52,96	27,88	18,64	13,53	9,56	6,23	2,88
	Y	4,49	1,59	-3,00	-10,94	-29,98	-399,58	53,51	28,36	19,94	15,53	12,60	10,46	8,56
	Z	8,06	5,48	1,10	-6,95	-25,14	-315,68	52,99	26,74	14,58	5,78	-9,19	-13,39	-26,82
2000	X	3,98	3,75	3,09	2,19	1,79	1,00	-0,97	-3,23	-4,58	-7,86	-12,46	-24,20	-71,81
	Y	8,30	7,28	5,97	4,62	3,63	2,25	-1,77	-3,99	-5,94	-9,29	-14,48	-26,88	-77,97
	Z	12,14	11,57	10,68	9,60	9,13	8,06	4,13	1,05	0,18	-3,44	-8,50	-20,97	-69,28

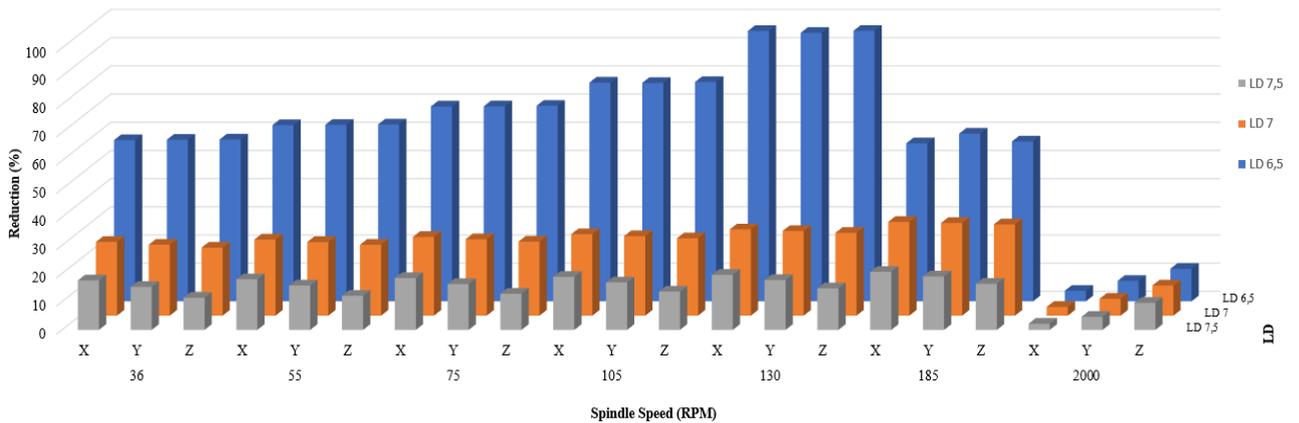
Pada tabel 4.4 di atas merupakan hasil reduksi getaran *boring bar* dengan penambahan *neophrene rubber* DVA pada sumbu x, y, dan z dalam persentase reduksi. Pada tabel tersebut terdapat warna hijau yang mana DVA dapat mereduksi, sedangkan yang warna merah merupakan DVA tidak mereduksi pada sumbu tersebut. Berdasarkan tabel tersebut, dapat terlihat bahwa sumbu y (tangensial) dapat mereduksi pada *cutting parameter* dan variasi *overhang length* yang terbanyak dibandingkan sumbu x dan z yaitu total 104 daerah hijau dari 156 variasi yang ada pada setiap sumbu tersebut. Untuk menganalisis kualitas peredaman respon getaran sistem utama oleh DVA, diilustrasikan grafik yang menunjukkan pengaruh DVA pada variasi dimana DVA dapat mereduksi getaran sistem utama pada gambar 4.14 di bawah ini.



Gambar 4.14 Diagram of The Effect of Neophrene Rubber DVA in Reducing The Main System Vibration Response on The Reduced Variation

Bila kita amati secara keseluruhan data pada gambar 4.14 di atas, reduksi respon getaran mempunyai karakteristik dimana di beberapa variasi L/D sistem utama membutuhkan semakin besar putaran *spindle* untuk mencapai reduksi optimum, sebagai contoh pada L/D 6,5 mereduksi sebesar 62,52% pada 55 rpm, L/D 6,5 mereduksi sebesar 69,14% pada 75 rpm, L/D 6,5 mereduksi sebesar 77,61% pada 105 rpm, dan L/D 6,5 mereduksi optimum sebesar 95,92% pada 130 rpm di sumbu x. Hal ini membuktikan bahwa *sphere rubber* DVA bekerja dengan baik bila dipasangkan pada sistem utama yang dioperasikan pada kecepatan putaran *spindle* tertentu dan beberapa variasi L/D saja.

Berdasarkan diagram batang pengaruh DVA dalam mereduksi respon getaran sistem utama pada variasi yang tereduksi tersebut, didapatkan hasil berupa 49 variasi yang mereduksi getaran pada sumbu x, y, dan z dari 156 variasi yang ada dan didapatkan diagram batang seperti gambar di bawah ini.



Gambar 4.15 Diagram of The Effect of Neophrene Rubber DVA in Reducing The Vibration Response of The Main System at Reduced Variations in All Axes

Berdasarkan gambar 4.15, DVA memiliki performa yang stabil dalam mereduksi respon getaran *boring bar* pada L/D 6,5 hingga 7,5 dimana respon getaran *boring bar* teredam pada seluruh sumbu dengan 7 variasi kecepatan putaran *spindle*, dimana reduksi mulai dari 2,19% hingga 95,97%. Sedangkan DVA memiliki performa terbaik dalam mereduksi respon getaran *boring bar* pada variasi L/D 6,5 ketika diberi putaran *spindle* sebesar 130 rpm, dengan reduksi sebesar 95,97% pada sumbu z, sehingga dapat disimpulkan bahwa meskipun DVA mereduksi dengan relatif stabil pada L/D 6,5 hingga 7,5, DVA justru melakukan peredaman terbaik pada L/D 6,5 dengan putaran *spindle* sebesar 130 rpm. Kendati demikian, pada pengaplikasiannya saat proses permesinan, penggunaan L/D 6,5 hingga 7,5 cukup baik karena respon getaran sudah teredam sejak putaran *spindle* yang rendah meskipun tidak mereduksi pada kecepatan putaran *spindle* tinggi. Untuk penggunaan variasi selain yang dapat mereduksi ke seluruh sumbu tersebut baiknya dihindari karena akan semakin menimbulkan getaran yang terlalu besar bahkan dapat merusak mesin dan benda kerja.

Berdasarkan hasil analisis reduksi respon getaran dengan adanya penambahan *natural rubber* DVA dan *neophrene rubber* DVA, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *natural rubber* dan *neophrene rubber* tidak jauh berbeda untuk mereduksi getaran yang dihasilkan oleh sistem utama, yaitu dengan persentase deviasi sekitar 2%. *Natural rubber* memiliki jangkauan redaman yang lebih banyak yaitu sebanyak 52 variasi dari total 156 variasi. Sedangkan *neophrene rubber* memiliki jangkauan redaman yang lebih sedikit yaitu sebanyak 49 variasi dari total 156 variasi. Dari seluruh variasi tersebut juga terdapat hasil reduksi yang bernilai negatif dimana berarti bahwa penambahan sistem DVA tidak dapat mereduksi getaran sistem utama dan bahkan dapat menambah getaran yang terjadi (*chatter*). Hal ini membuktikan bahwa DVA umumnya berpengaruh dalam mereduksi respon getaran sistem utama, namun juga dapat meningkatkan respon getaran bila dipasangkan pada variasi sistem utama yang tidak tepat. Selain itu, jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Dasuta, 2022) dengan memvariasikan jenis karet dan didapatkan hasil berupa pada rpm rendah penggunaan *natural rubber* lebih disarankan karena dapat mereduksi getaran dengan baik, sedangkan pada rpm tinggi penggunaan *neophrene rubber* lebih disarankan karena dapat mereduksi getaran dengan baik. Namun, penggunaan jenis karet pada penelitian ini tidak merujuk pada hasil yang didapatkan pada penelitian sebelumnya tersebut karena terdapat beberapa parameter yang berbeda yaitu antara lain besarnya gaya eksitasi, *depth of cut*, diameter *spherical mass*, rasio L/D, serta besarnya putaran *spindle* yang digunakan.

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini kemudian dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (**Addinuri, 2021**) dengan variasi L/D, *cutting parameter*, serta kecepatan putaran *spindle* yang sama. Pada penelitian tersebut menggunakan DVA berupa *cantilever beam*, kemudian didapatkan hasil 35 dari 156 variasi yang ada yang dapat mereduksi getaran dan tidak membentur sistem utama (*boring bar*). Sedangkan pada penelitian ini didapatkan hasil 52 dari 156 variasi yang ada dengan adanya penambahan *natural rubber* DVA dengan dapat mereduksi ke segala sumbu (x, y, dan z), serta 49 dari 156 variasi yang ada dengan adanya penambahan *neophrene rubber* DVA dengan dapat mereduksi ke segala sumbu (x, y, dan z). Namun, pada penelitian sebelumnya yang menggunakan *cantilever beam* tersebut terdapat nilai reduksi yang cukup stabil yaitu di atas 96% pada 2000 rpm untuk seluruh variasi L/D. Sedangkan pada penelitian ini hanya L/D 6,5 hingga 7,5 yang mampu mereduksi ke segala arah dengan menggunakan *natural rubber* maupun *neophrene rubber* DVA.

Sehingga, berdasarkan perbandingan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan *spherical rubber* DVA pada *boring bar* dengan penambahan *natural rubber* maupun *neophrene rubber* DVA pada *spindle speed* rendah (36 rpm – 185 rpm) lebih baik karena dapat mereduksi pada *cutting parameter* yang lebih banyak serta *spherical rubber* DVA dapat mereduksi ke segala arah. Namun, untuk penggunaan *cantilever beam* DVA pada *boring bar* dengan *spindle speed* tinggi (2000 rpm) lebih disarankan karena mereduksi stabil lebih dari 96% pada seluruh variasi rasio *overhang length* (L/D) *boring bar*.

Selain itu, berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diketahui bahwa pada saat *customized boring bar* diberi penambahan DVA, dapat terlihat pada grafik bahwa sistem memiliki 2 titik resonansi yang mana seiring berkurangnya rasio L/D maka posisi *peak* pertama dan *peak* kedua akan semakin bergeser ke kanan. Salah satu contohnya yaitu dapat dilihat pada grafik/bode diagram variasi L/D 6 dengan menggunakan *natural rubber* DVA yang ditinjau arah sumbu Y. Untuk *trend peak* pertama dapat terlihat bahwa seiring berkurangnya rasio *overhang length* (L/D) *boring bar*, maka rasio amplitudo akan semakin naik. Berbeda dengan *trend* pada *peak* kedua, dimana seiring berkurangnya rasio *overhang length* (L/D) *boring bar*, maka rasio amplitudo akan semakin menurun. Hal ini sesuai dengan teori dan penelitian yang telah dilakukan oleh (**Sun, Beibei; Li, Lie; tahun 2019**) dimana menyatakan bahwa semakin besar kekakuan DVA maka rasio amplitudo *peak* pertama akan semakin meningkat dan rasio amplitudo *peak* kedua akan semakin menurun hingga menghilang dan sistem kembali menjadi 1-DOF. Sehingga, berdasarkan teori atau kesimpulan yang didapatkan pada penelitian-penelitian sebelumnya, maka hal tersebut dapat digunakan sebagai validasi pada penelitian ini karena hasil yang didapatkan telah sesuai.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan yaitu antara lain sebagai berikut.

1. Variasi dimensi *overhang length* (L/D) *boring bar* dengan adanya penambahan *sphere mass* menggunakan *natural rubber* DVA mampu mereduksi relatif stabil terhadap respon getaran yang dihasilkan pada seluruh sumbu di L/D 6,5 hingga 8,5 dengan nilai reduksi tertinggi yaitu sebesar 95,9% pada sumbu z L/D 6,5 di kecepatan putaran *spindle* 130 rpm. Sedangkan dengan menggunakan *neophrene rubber* DVA mampu mereduksi relatif stabil terhadap respon getaran yang dihasilkan pada seluruh sumbu di L/D 6,5 hingga 7,5 dengan nilai reduksi tertinggi yaitu sebesar 95,97% pada sumbu z L/D 6,5 di kecepatan putaran *spindle* 130 rpm.
2. Semakin besar dimensi L/D *boring bar* maka semakin bergeser ke kiri respon getaran yang dihasilkan, selain itu semakin besar putaran *spindle* maka semakin kecil frekuensi *chatter* sehingga semakin kecil respon getaran yang dihasilkan. Pada kasus sistem utama tanpa DVA, semakin besar L/D *boring bar*, semakin kecil frekuensi natural sistem serta semakin menurun rasio amplitudo yang dihasilkan, begitu pula sebaliknya. Namun, pada kasus sistem utama dengan DVA, pada *peak* kedua semakin besar L/D *boring bar*, semakin kecil frekuensi natural sistem namun rasio amplitudo yang dihasilkan semakin meningkat.
3. Desain yang paling optimum untuk meredam *chatter* pada proses permesinan tipe *finishing* pada *feedrate* 0,1 mm/rev serta *depth of cut* 0,5 mm adalah L/D 6,5 dengan penambahan karet *natural* maupun karet *neophrene* pada kecepatan putaran *spindle* 130 rpm karena didapatkan hasil bahwa DVA bekerja paling optimal dalam mereduksi respon getaran sebesar lebih dari 95% ke segala arah (radial, tangensial, dan axial) sehingga mampu meredam getaran semaksimal mungkin pada frekuensi naturalnya.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan kesimpulan yang telah didapatkan, maka terdapat saran untuk pengembangan selanjutnya adalah sebagai berikut.

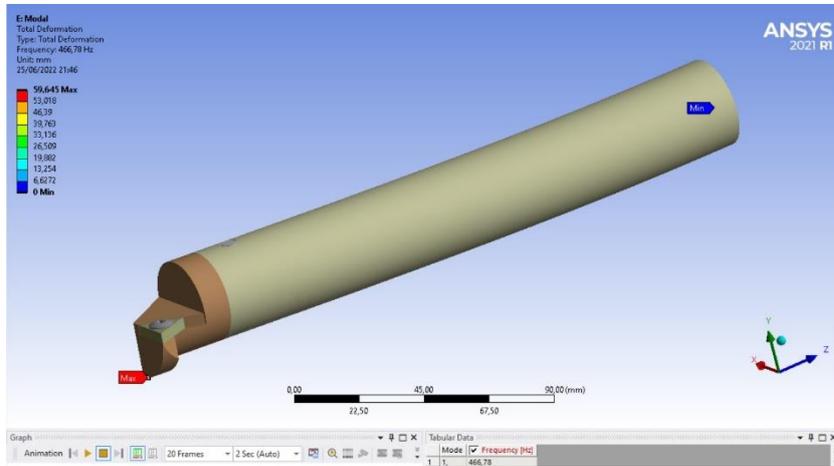
1. Disarankan untuk melakukan validasi dengan melakukan eksperimen untuk sistem *boring bar* yang sudah dimodelkan, khususnya *boring bar* dengan dimensi L/D 6,5 dengan menggunakan *cutting parameter* yang sama.
2. Disarankan untuk melakukan penelitian dengan variasi *cutting parameter* yang lebih beragam agar mendapat reduksi getaran yang stabil untuk seluruh variasi yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

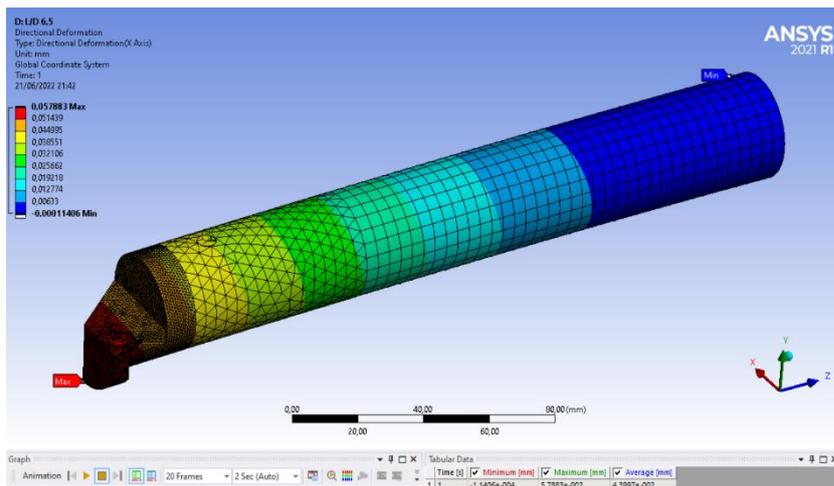
- Addinuri, V. H. (2021). *Pemodelan dan Analisa Nilai Optimum Reduksi Getaran Boring Bar pada Proses Permesinan (Lathe Machine) Akibat Pemasangan DVA dengan Variasi Dimensi Boring Bar dan Putaran Spindle* [Tugas Akhir]. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Dasuta, G. S. (2022). *Studi Eksperimental dan Analisa Respon Getaran Proses Boring pada Mesin Bubut Menggunakan Spherical Damper pada Boring Bar* [Tugas Akhir]. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hong, J. H., Guo, Y. Y., & Song, D. S. (2017). A Study on the Design Model of Passive Tunable Damped Boring Bar. *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, 34(12), 917–926. <https://doi.org/https://doi.org/10.7736/KSPE.2017.34.12.917>
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2010). *Manufacturing Engineering and Technology (6th ed. in SI Units)*. Pearson Prentice Hall.
- Li, L., Sun, B., & Hua, H. (2019). Analysis of the Vibration Characteristics of a Boring Bar with a Variable Stiffness Dynamic Vibration Absorber. *Shock and Vibration*, 2019, 13. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2019/5284194>
- Merdekawan, N. (2020). *Pemodelan dan Analisa Respon Getaran Boring Bar pada Internal Turning Akibat Pengaruh Variasi Jumlah dan Jenis Karet DVA pada Gaya Tipikal Finishing* [Tugas Akhir]. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Optimalisasi. (2016). Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI). Diambil 22 Februari, 2022. Dari <https://kbbi.kemdikbud.go.id/entri/optimalisasi>
- Rao, S. S. (2009). *Engineering Optimization Theory and Practice (4th ed.)*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Rao, S. S. (2011). *Mechanical Vibrations (5th ed.)*. Pearson Prentice Hall.
- Thomas, W., Diniz, A. E., Pederiva, R., Suyama, D. I., & de Albuquerque, M. v. (2019). A New Type Of Impact Damper With Long Overhangs In The Internal Turning Of Hardened Materials. *Procedia CIRP*, 82, 255–260. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2019.04.147>
- Winardi (1999). Pengantar tentang Teori Sistem dan Analisis Sistem. Mandar Maju.

LAMPIRAN

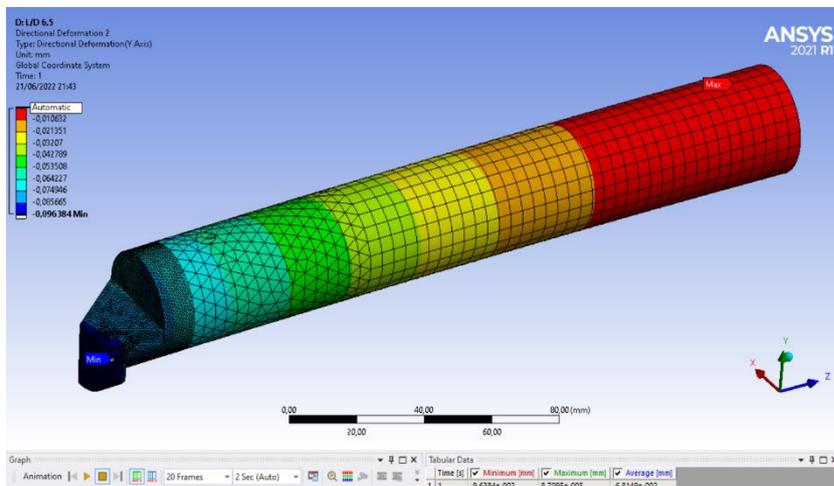
1. Regular Boring Bar L/D 6,5



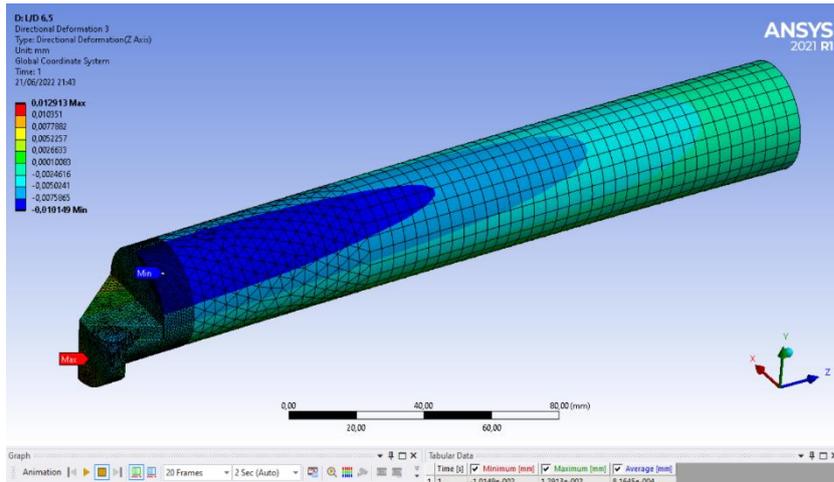
Frekuensi Natural



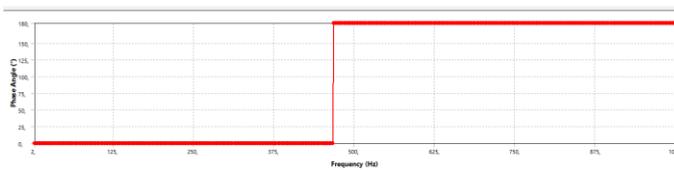
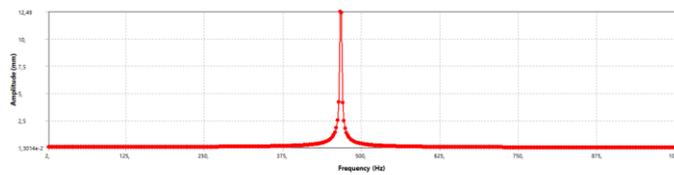
Directional Deformation Sumbu X



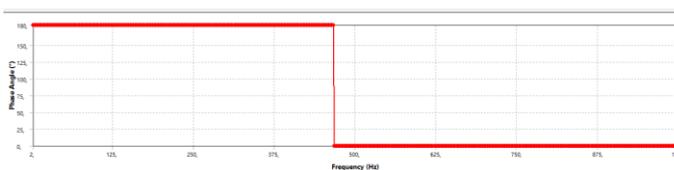
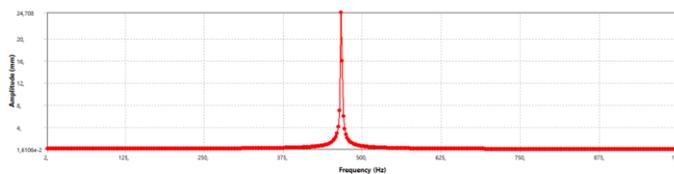
Directional Deformation Sumbu Y



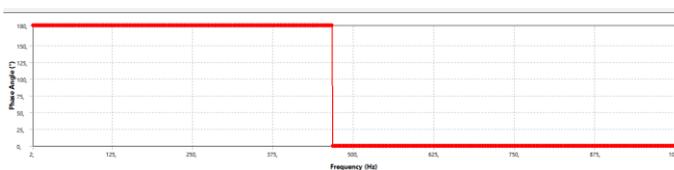
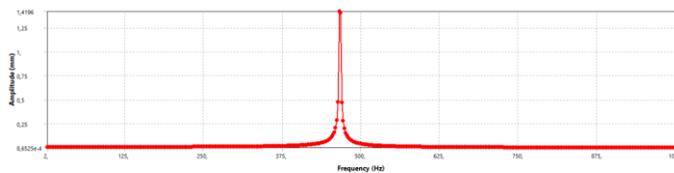
Directional Deformation Sumbu Z



Bode Diagram Sumbu X

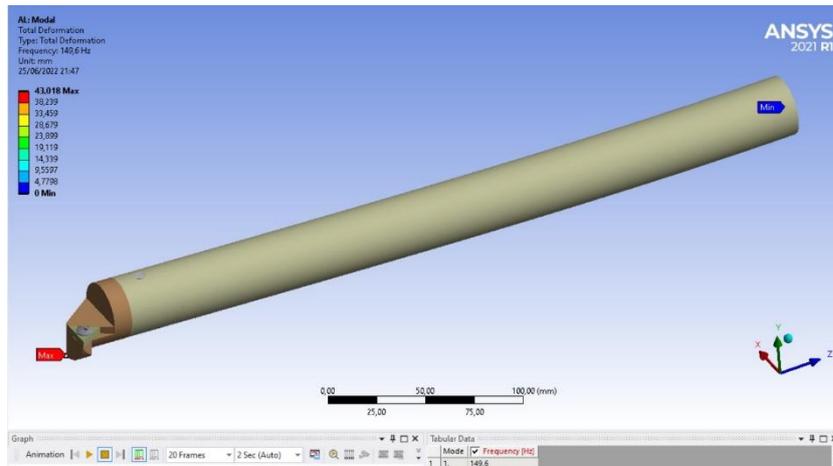


Bode Diagram Sumbu Y

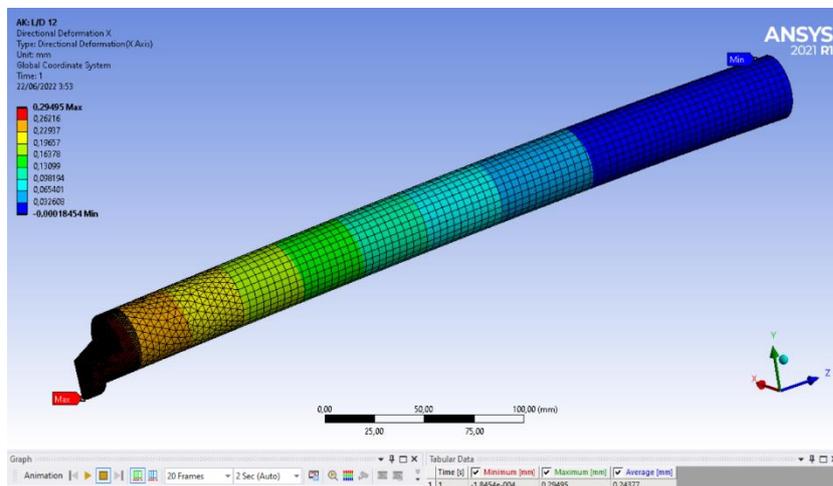


Bode Diagram Sumbu Z

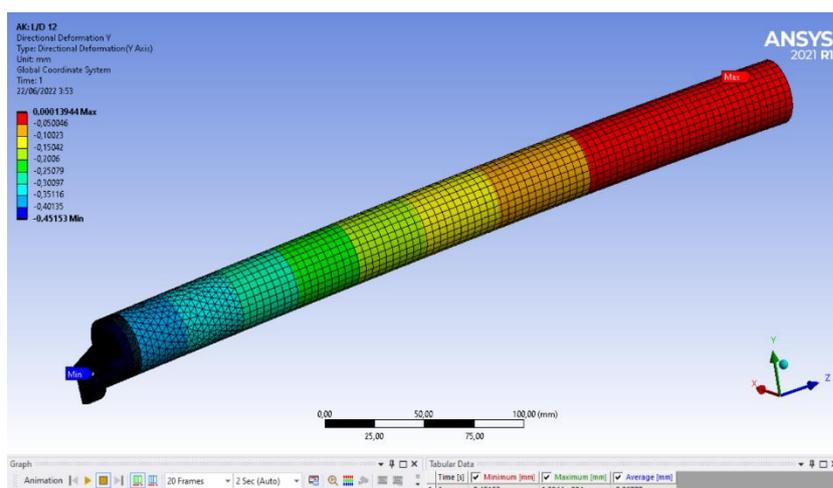
2. Regular Boring Bar L/D 12



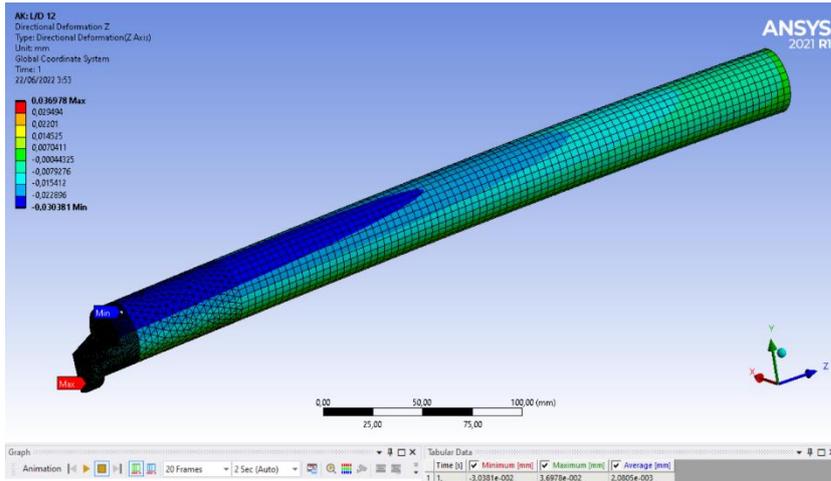
Frekuensi Natural



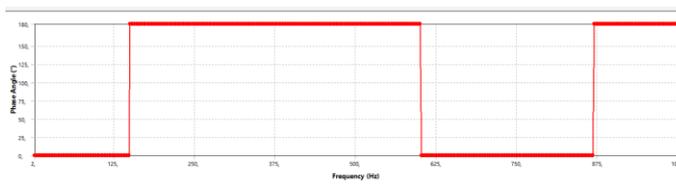
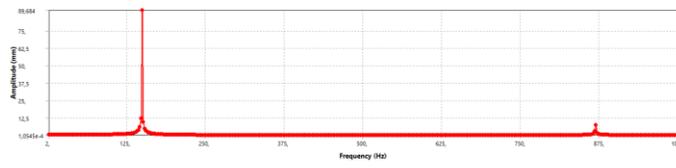
Directional Deformation Sumbu X



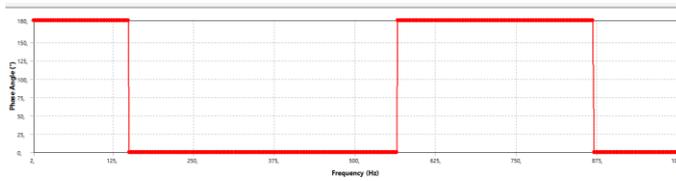
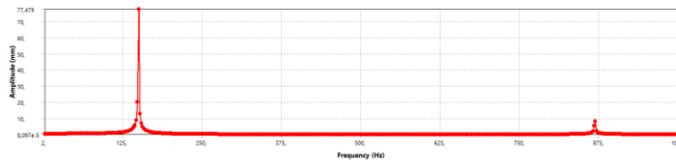
Directional Deformation Sumbu Y



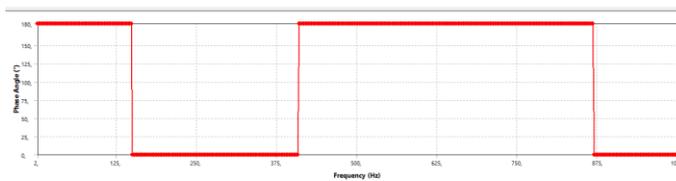
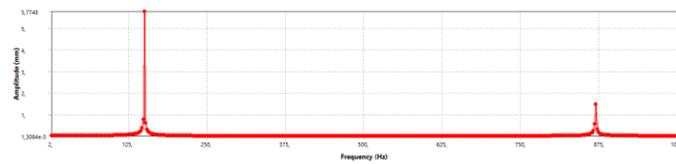
Directional Deformation Sumbu Z



Bode Diagram Sumbu X

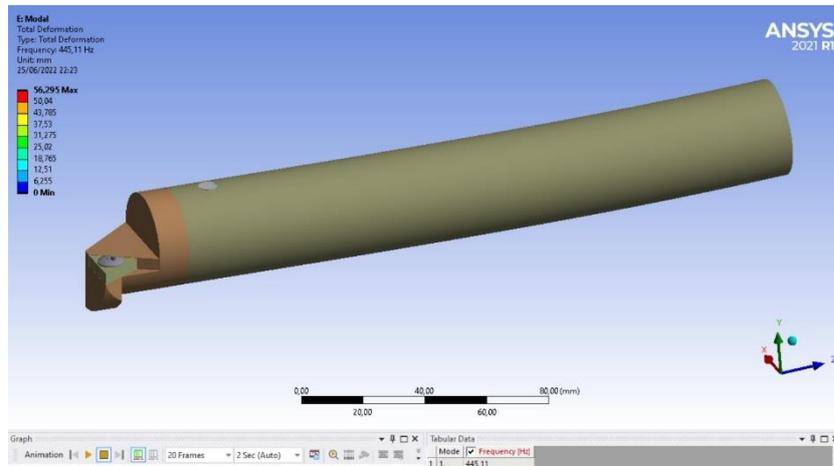


Bode Diagram Sumbu Y

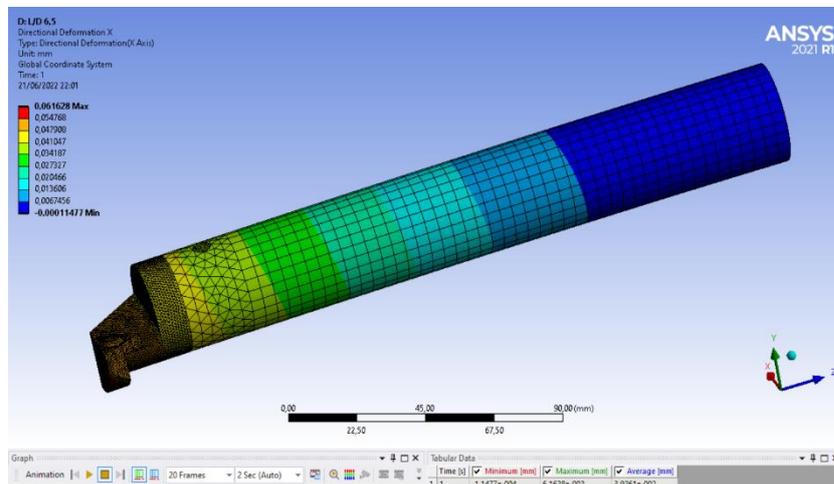


Bode Diagram Sumbu Z

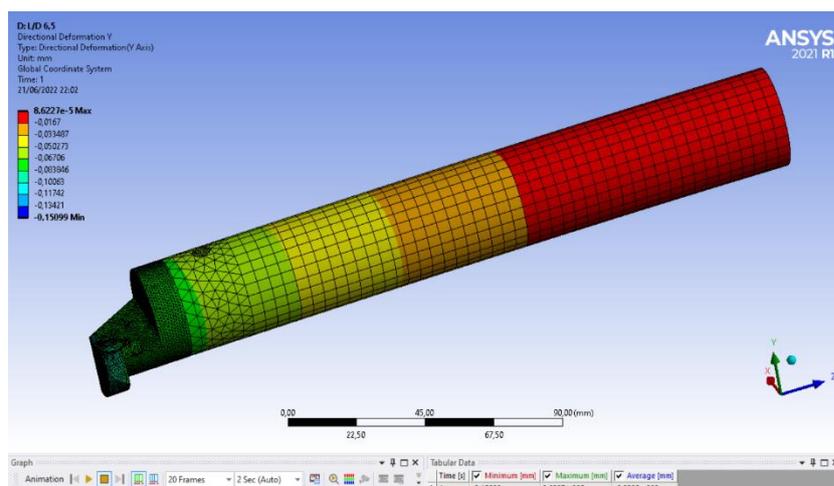
3. Customized Boring Bar dengan Natural Rubber L/D 6,5



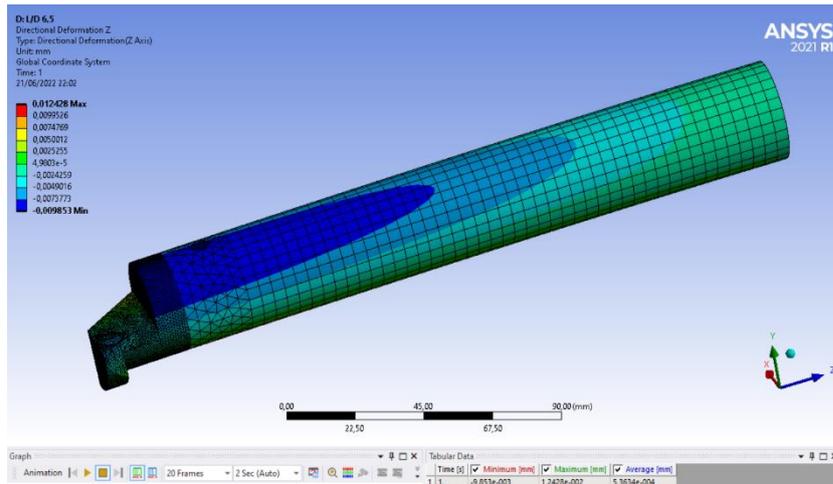
Frekuensi Natural



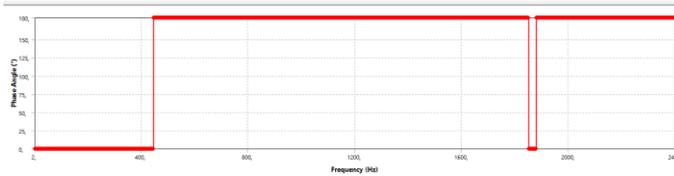
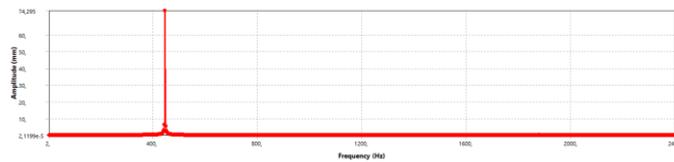
Directional Deformation Sumbu X



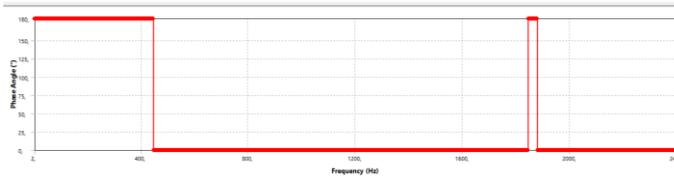
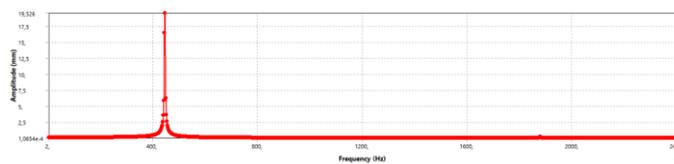
Directional Deformation Sumbu Y



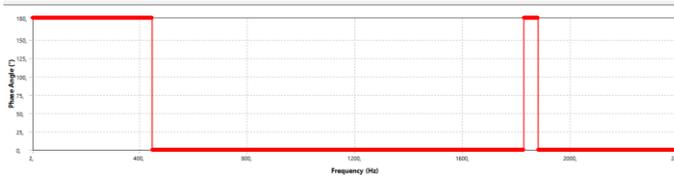
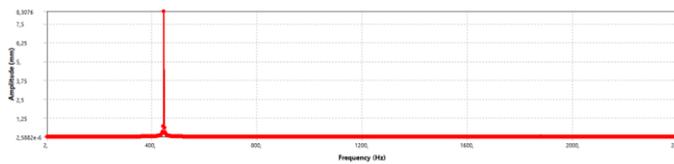
Directional Deformation Sumbu Z



Bode Diagram Sumbu X

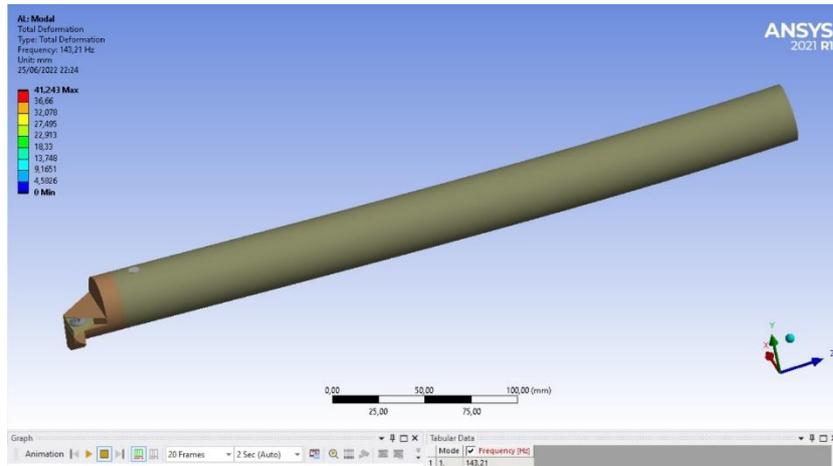


Bode Diagram Sumbu Y

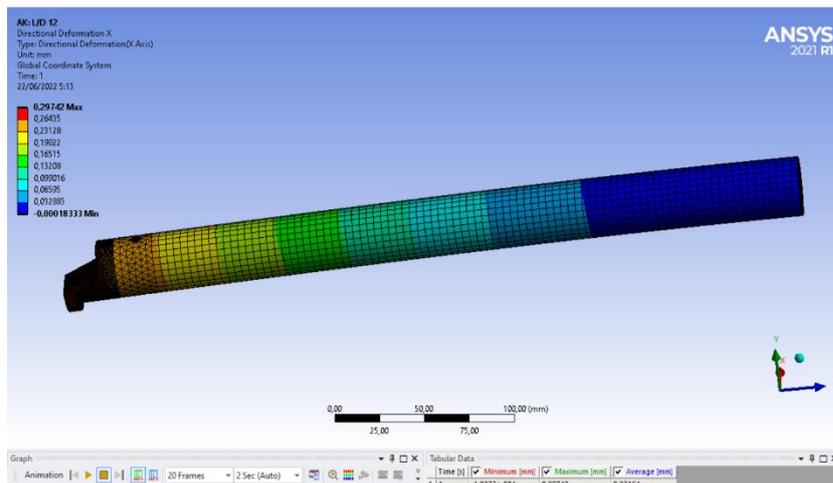


Bode Diagram Sumbu Z

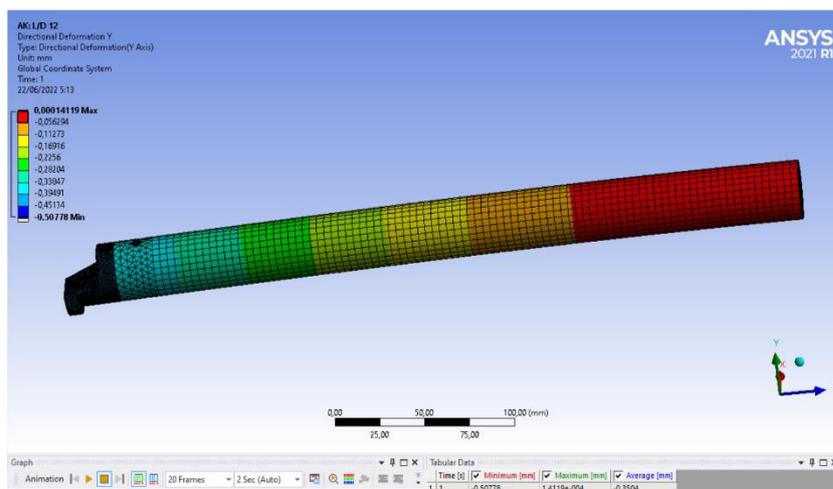
4. Customized Boring Bar dengan Natural Rubber L/D 12



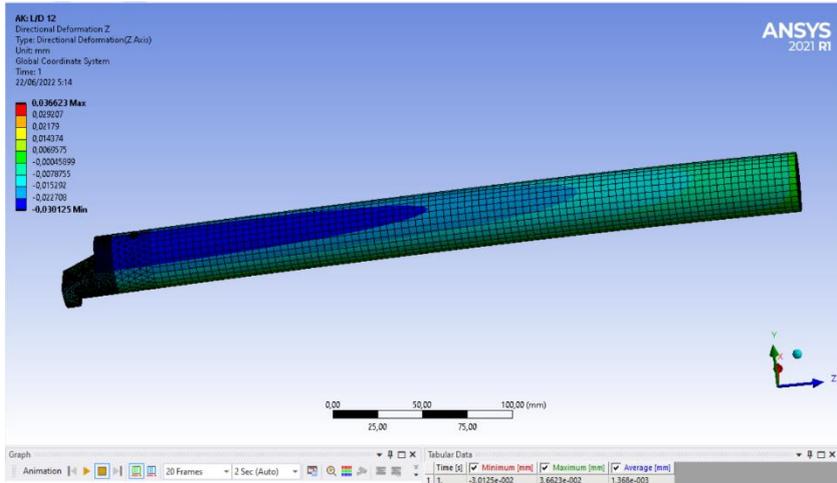
Frekuensi Natural



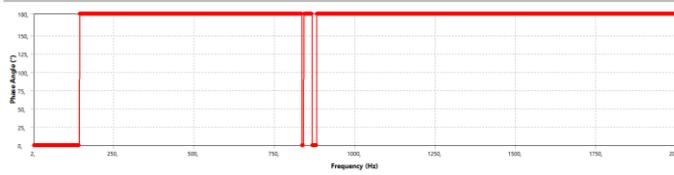
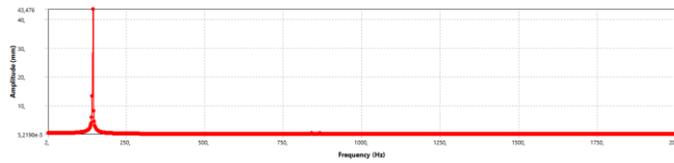
Directional Deformation Sumbu X



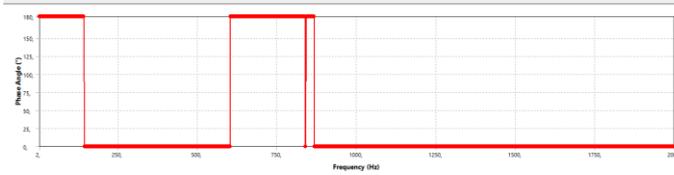
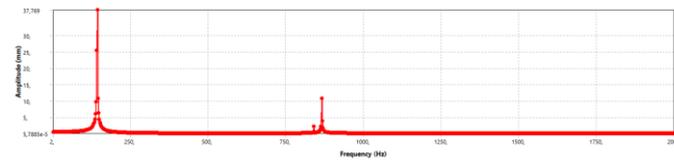
Directional Deformation Sumbu Y



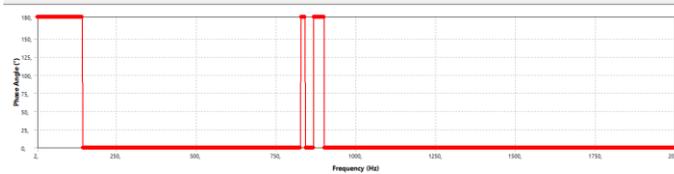
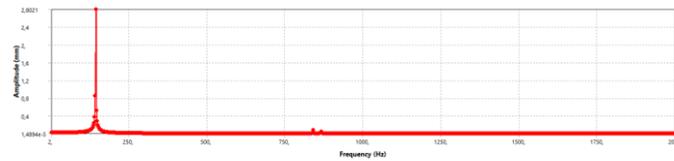
Directional Deformation Sumbu Z



Bode Diagram Sumbu X

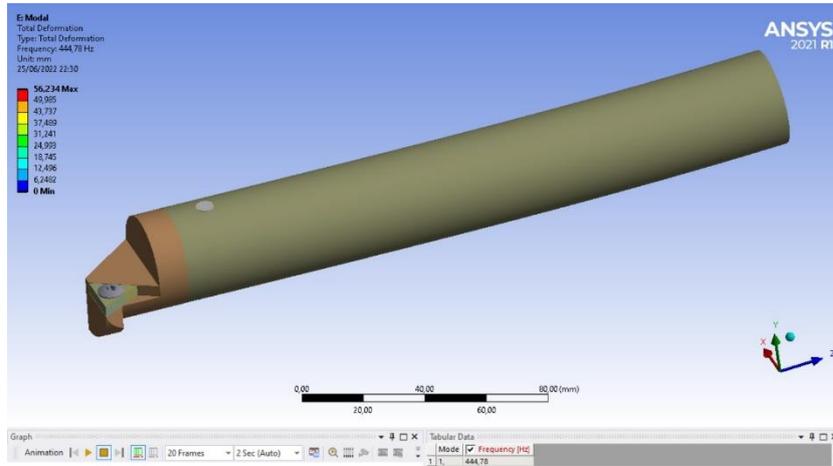


Bode Diagram Sumbu Y

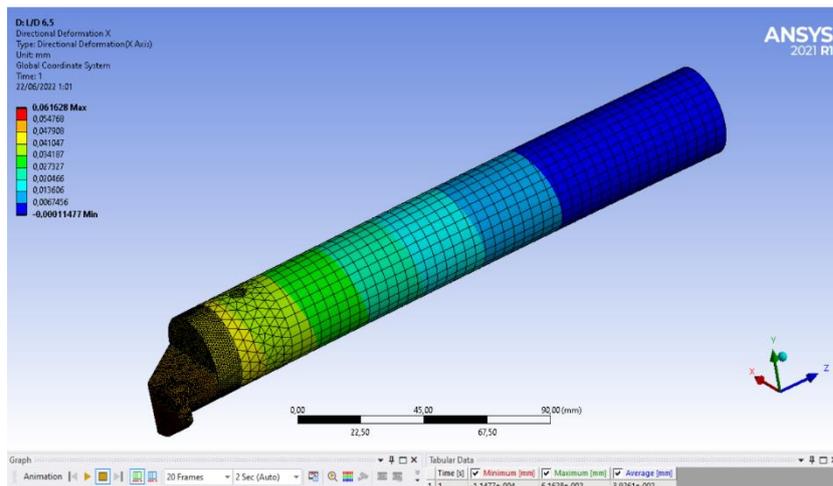


Bode Diagram Sumbu Z

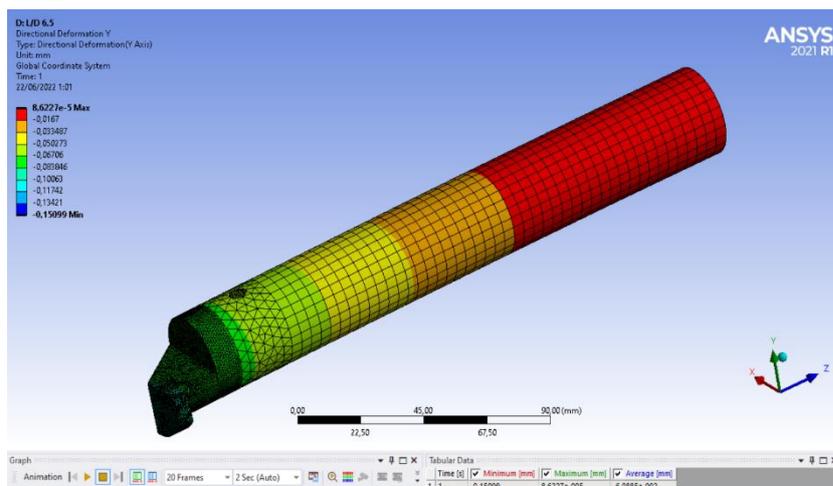
5. Customized Boring Bar dengan Neophrene Rubber L/D 6,5

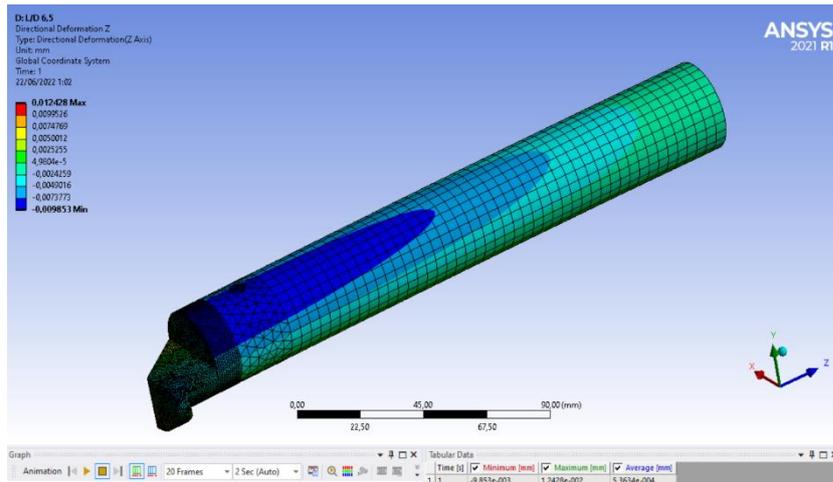


Frekuensi Natural

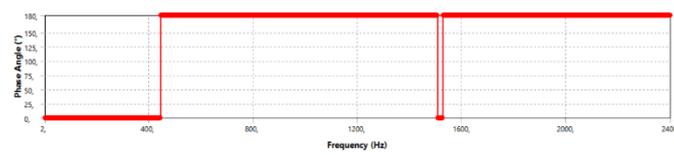
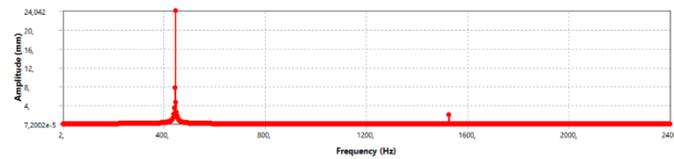


Directional Deformation Sumbu X

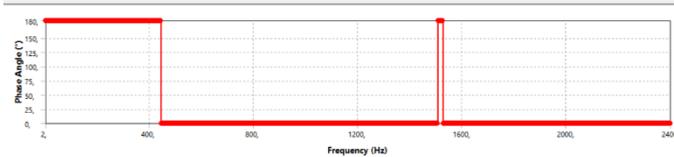
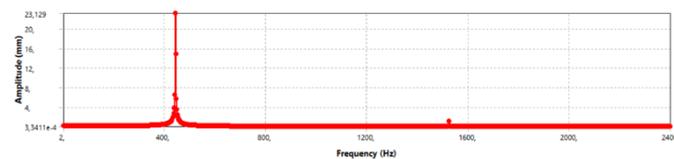




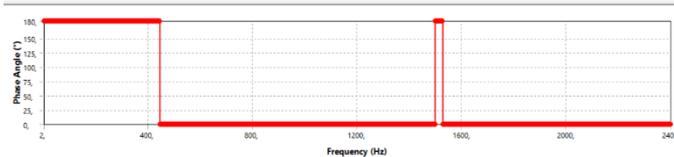
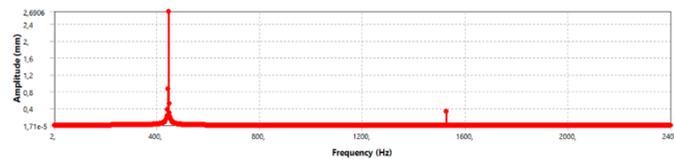
Directional Deformation Sumbu Z



Bode Diagram Sumbu X

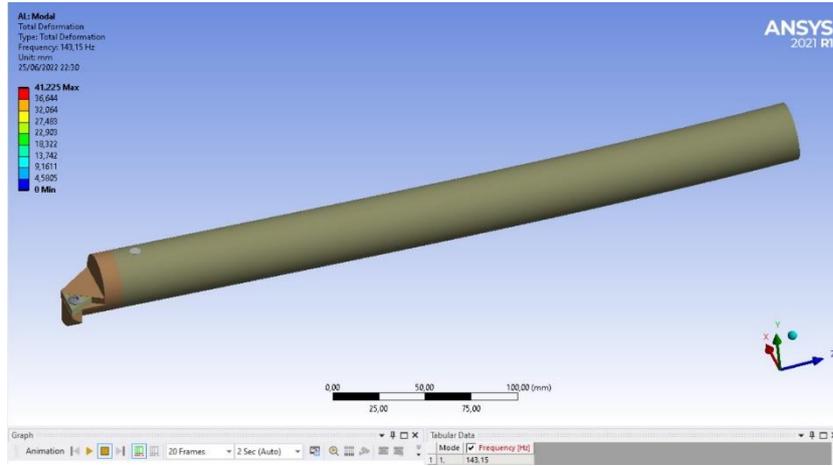


Bode Diagram Sumbu Y

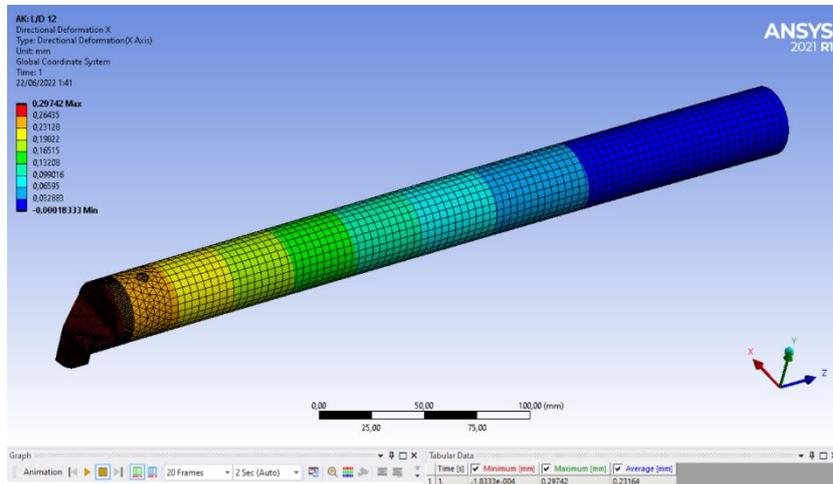


Bode Diagram Sumbu Z

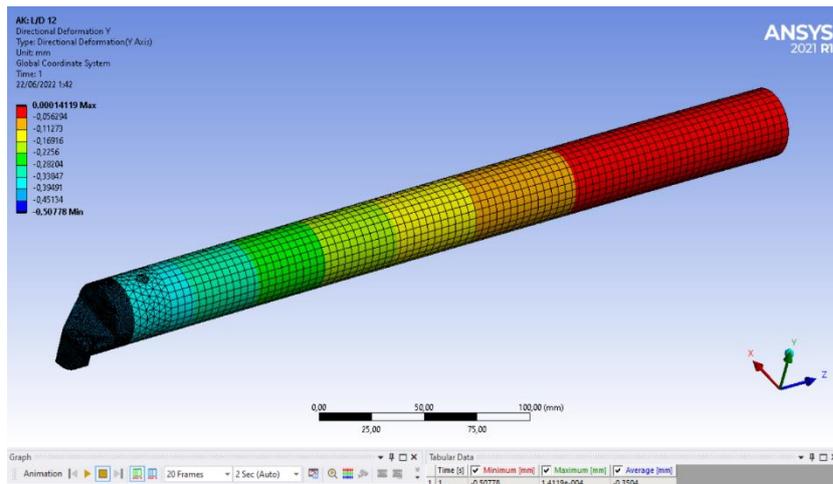
6. Customized Boring Bar dengan Neophrene Rubber L/D 12



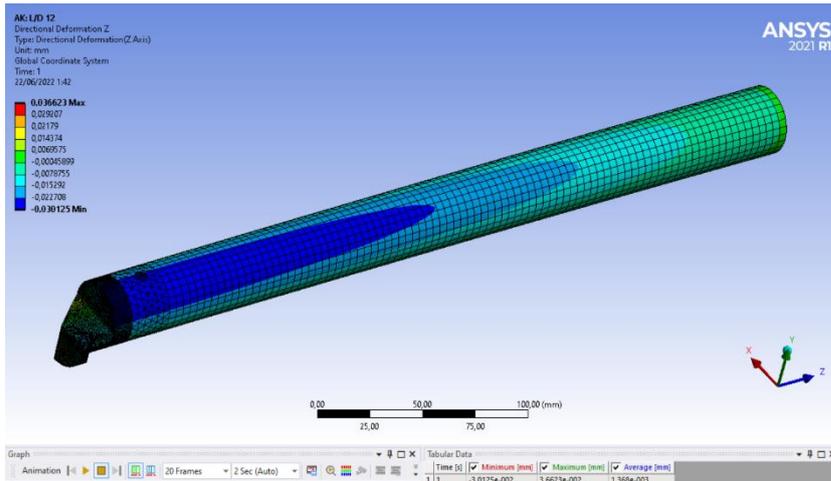
Frekuensi Natural



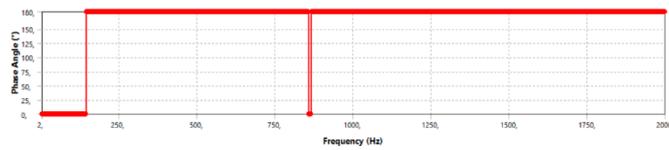
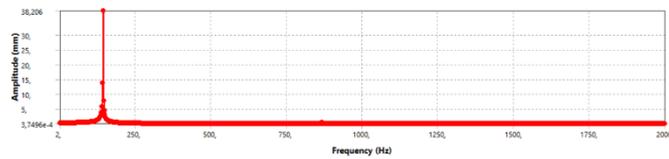
Directional Deformation Sumbu X



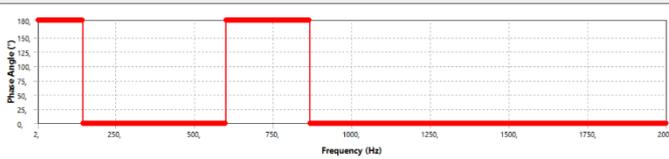
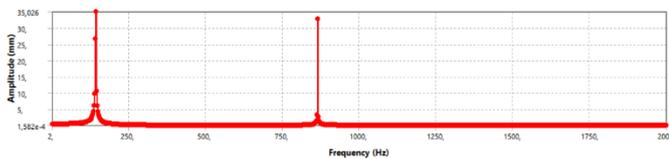
Directional Deformation Sumbu Y



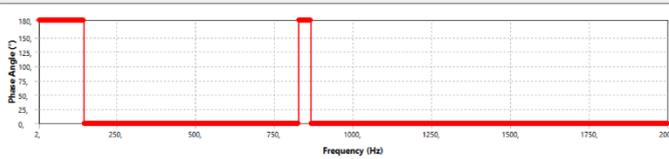
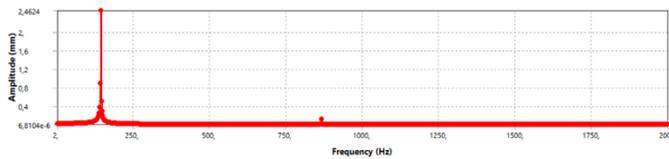
Directional Deformation Sumbu Z



Bode Diagram Sumbu X

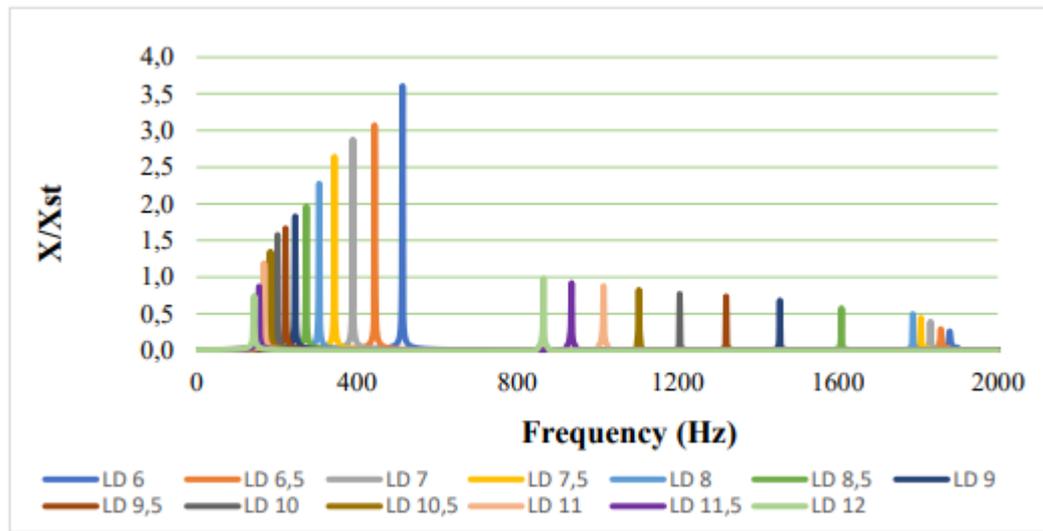


Bode Diagram Sumbu Y

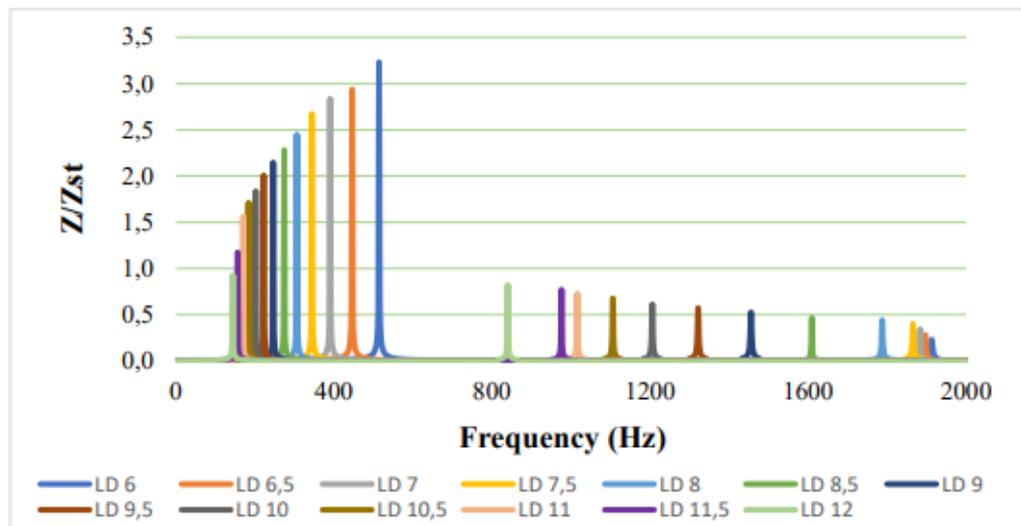


Bode Diagram Sumbu Z

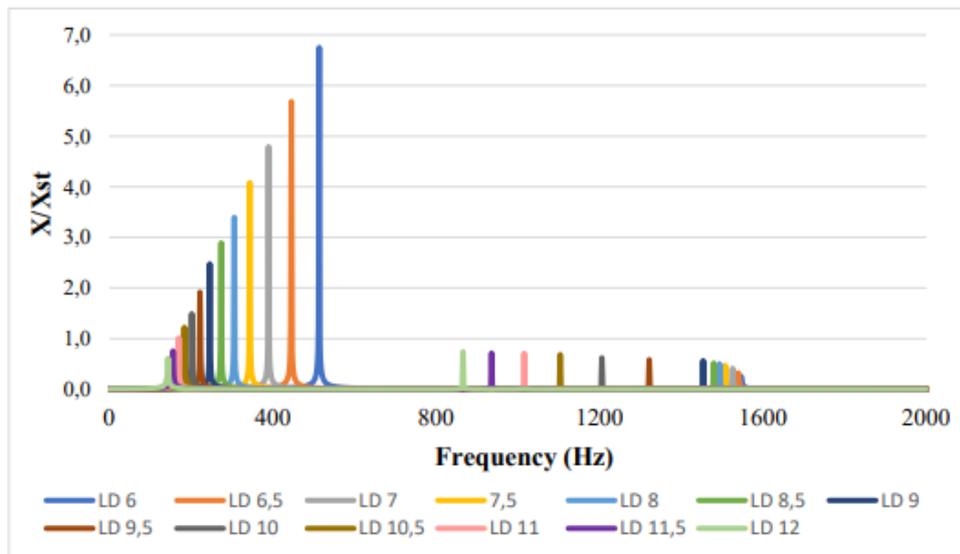
7. Grafik Respon Getaran dengan *Natural Rubber* DVA arah Sumbu-X



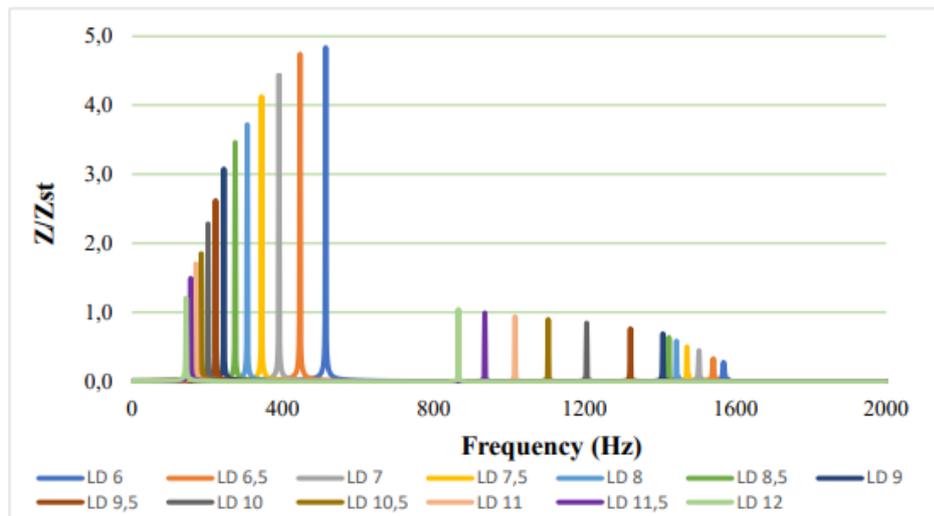
8. Grafik Respon Getaran dengan *Natural Rubber* DVA arah Sumbu-Z



9. Grafik Respon Getaran dengan *Neophrene Rubber* DVA arah Sumbu-X



10. Grafik Respon Getaran dengan *Neophrene Rubber* DVA arah Sumbu-Z



11. Tabel Respon Getaran *Regular Boring Bar* dan *Boring Bar L/D 6,5* dengan Penambahan *Natural Rubber DVA*

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 208 mm		
6,5	257,78	36	485	0,64214	0,2775	56,78512474
	257,78	55	482	0,8172	0,30954	62,12187959
	257,78	75	478	1,1196	0,34955	68,77902822
	257,78	105	473	1,7673	0,40094	77,31341595
	257,78	130	468	12,382	0,51283	95,85826199
	257,78	185	459	1,7993	0,80957	55,00639137
	257,78	250	447	0,67242	5,3695	-698,5336546
	257,78	370	426	0,3201	0,60113	-87,79443924
	257,78	630	380	0,15984	0,19124	-19,64464464
	257,78	920	328	0,10711	0,11407	-6,497992718
	257,78	1250	269	0,081893	0,082664	-0,941472409
	257,78	2000	136	0,059987	0,057747	3,734142398

Sumbu X

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 208 mm		
6,5	257,78	36	485	0,98121	0,42272	56,91849859
	257,78	55	482	1,2461	0,47059	62,23497312
	257,78	75	478	1,7001	0,53012	68,81830481
	257,78	105	473	2,6576	0,60614	77,19220349
	257,78	130	468	15,947	0,77004	95,17125478
	257,78	185	459	2,881	1,1941	58,55258591
	257,78	250	447	1,0583	6,216	-487,3570821
	257,78	370	426	0,5028	0,9681	-92,54176611
	257,78	630	380	0,25229	0,30001	-18,91474097
	257,78	920	328	0,17015	0,17808	-4,660593594
	257,78	1250	269	0,13092	0,1288	1,619309502
	257,78	2000	136	0,09686	0,089841	7,2465414

Sumbu Y

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 208 mm		
6,5	257,78	36	485	0,07235	0,031116	56,99239806
	257,78	55	482	0,092221	0,034709	62,36323614
	257,78	75	478	0,12654	0,039196	69,02481429
	257,78	105	473	0,20005	0,04496	77,5256186
	257,78	130	468	1,4043	0,057509	95,90479242
	257,78	185	459	0,2048	0,090784	55,671875
	257,78	250	447	0,076867	0,60172	-682,8066661
	257,78	370	426	0,036871	0,067451	-82,9378102
	257,78	630	380	0,018675	0,021463	-14,92904953
	257,78	920	328	0,012687	0,012806	-0,937967999
	257,78	1250	269	0,0098217	0,0092825	5,489884643
	257,78	2000	136	0,0073309	0,0064872	11,50881884

Sumbu Z

12. Tabel Respon Getaran *Regular Boring Bar* dan *Boring Bar L/D 6,5* dengan Penambahan *Neophrene Rubber DVA*

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 208 mm		
6,5	257,78	36	485	0,64214	0,27483	57,20092192
	257,78	55	482	0,8172	0,30629	62,51957905
	257,78	75	478	1,1196	0,34552	69,13897821
	257,78	105	473	1,7673	0,39577	77,60595258
	257,78	130	468	12,382	0,50471	95,92384106
	257,78	185	459	1,7993	0,79045	56,06902684
	257,78	250	447	0,67242	4,6707	-594,6105113
	257,78	370	426	0,3201	0,60985	-90,51858794
	257,78	630	380	0,15984	0,19187	-20,03878879
	257,78	920	328	0,10711	0,11421	-6,628699468
	257,78	1250	269	0,081893	0,082697	-0,981768894
	257,78	2000	136	0,059987	0,057735	3,754146732

Sumbu X

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 208 mm		
6,5	257,78	36	485	0,98121	0,41865	57,33329257
	257,78	55	482	1,2461	0,46567	62,62980499
	257,78	75	478	1,7001	0,52403	69,17651903
	257,78	105	473	2,6576	0,5984	77,48344371
	257,78	130	468	15,947	0,75805	95,24644134
	257,78	185	459	2,881	1,1669	59,49670253
	257,78	250	447	1,0583	5,5924	-428,4323916
	257,78	370	426	0,5028	0,98283	-95,47136038
	257,78	630	380	0,25229	0,30098	-19,29921915
	257,78	920	328	0,17015	0,17828	-4,778136938
	257,78	1250	269	0,13092	0,12884	1,588756493
	257,78	2000	136	0,09686	0,089811	7,277513938

Sumbu Y

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 208 mm		
6,5	257,78	36	485	0,07235	0,030818	57,40428473
	257,78	55	482	0,092221	0,034347	62,75577146
	257,78	75	478	0,12654	0,038745	69,38122333
	257,78	105	473	0,20005	0,044381	77,81504624
	257,78	130	468	1,4043	0,056598	95,9696646
	257,78	185	459	0,2048	0,08864	56,71875
	257,78	250	447	0,076867	0,52344	-580,968426
	257,78	370	426	0,036871	0,068424	-85,57674053
	257,78	630	380	0,018675	0,021529	-15,28246319
	257,78	920	328	0,012687	0,012818	-1,032553007
	257,78	1250	269	0,0098217	0,009283	5,484793875
	257,78	2000	136	0,0073309	0,0064828	11,56883875

Sumbu Z

13. Tabel Respon Getaran *Regular Boring Bar* dan *Boring Bar L/D 7* dengan Penambahan *Natural Rubber DVA*

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 224 mm		
7	257,78	36	485	0,15566	0,11548	25,81266864
	257,78	55	482	0,16508	0,12107	26,65980131
	257,78	75	478	0,1756	0,12718	27,57403189
	257,78	105	473	0,18742	0,13388	28,56685519
	257,78	130	468	0,20819	0,14524	30,23680292
	257,78	185	459	0,24356	0,16344	32,89538512
	257,78	250	447	0,32404	0,20026	38,19898778
	257,78	370	426	0,77091	0,33237	56,88601782
	257,78	630	380	0,47286	1,2256	-159,1887662
	257,78	920	328	0,18329	0,21689	-18,33160565
	257,78	1250	269	0,11679	0,12221	-4,640808288
	257,78	2000	136	0,074857	0,072564	3,063173785

Sumbu X

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 224 mm		
7	257,78	36	485	0,23558	0,17707	24,83657356
	257,78	55	482	0,25004	0,1856	25,7718765
	257,78	75	478	0,26619	0,1949	26,78162215
	257,78	105	473	0,28434	0,2051	27,8680453
	257,78	130	468	0,31621	0,22237	29,67648082
	257,78	185	459	0,37041	0,25001	32,50452202
	257,78	250	447	0,49359	0,30578	38,04979842
	257,78	370	426	1,1727	0,50416	57,0086126
	257,78	630	380	0,73789	2,0159	-173,1979021
	257,78	920	328	0,2873	0,3383	-17,75147929
	257,78	1250	269	0,18432	0,1897	-2,918836806
	257,78	2000	136	0,11946	0,11236	5,943412021

Sumbu Y

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 224 mm		
7	257,78	36	485	0,015892	0,01211	23,79813743
	257,78	55	482	0,016892	0,012698	24,8283211
	257,78	75	478	0,018008	0,013339	25,92736562
	257,78	105	473	0,019263	0,014042	27,10377407
	257,78	130	468	0,021467	0,015234	29,03526343
	257,78	185	459	0,025218	0,017144	32,01681339
	257,78	250	447	0,033756	0,021009	37,76217561
	257,78	370	426	0,081155	0,034876	57,02544514
	257,78	630	380	0,050761	0,12867	-153,4820039
	257,78	920	328	0,020043	0,022777	-13,64067255
	257,78	1250	269	0,012986	0,012838	1,139688896
	257,78	2000	136	0,0085319	0,0076273	10,60256215

Sumbu Z

14. Tabel Respon Getaran *Regular Boring Bar* dan *Boring Bar L/D 7* dengan Penambahan *Neophrene Rubber DVA*

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 224 mm		
7	257,78	36	485	0,15566	0,11498	26,13388154
	257,78	55	482	0,16508	0,12054	26,98085777
	257,78	75	478	0,1756	0,1266	27,90432802
	257,78	105	473	0,18742	0,13325	28,90299861
	257,78	130	468	0,20819	0,14452	30,58264086
	257,78	185	459	0,24356	0,16257	33,25258663
	257,78	250	447	0,32404	0,19905	38,57239847
	257,78	370	426	0,77091	0,32945	57,26479096
	257,78	630	380	0,47286	1,2557	-165,5542867
	257,78	920	328	0,18329	0,21749	-18,65895575
	257,78	1250	269	0,11679	0,1223	-4,717869681
257,78	2000	136	0,074857	0,072546	3,087219632	

Sumbu X

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 224 mm		
7	257,78	36	485	0,23558	0,17631	25,15918159
	257,78	55	482	0,25004	0,18478	26,09982403
	257,78	75	478	0,26619	0,19402	27,11221308
	257,78	105	473	0,28434	0,20414	28,20566927
	257,78	130	468	0,31621	0,22128	30,02118845
	257,78	185	459	0,37041	0,24869	32,86088389
	257,78	250	447	0,49359	0,30393	38,42460342
	257,78	370	426	1,1727	0,49977	57,38296239
	257,78	630	380	0,73789	2,0695	-180,4618575
	257,78	920	328	0,2873	0,33925	-18,0821441
	257,78	1250	269	0,18432	0,18985	-3,000217014
257,78	2000	136	0,11946	0,11233	5,968525029	

Sumbu Y

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 224 mm		
7	257,78	36	485	0,015892	0,012061	24,10646866
	257,78	55	482	0,016892	0,012645	25,14207909
	257,78	75	478	0,018008	0,013281	26,24944469
	257,78	105	473	0,019263	0,013979	27,43082594
	257,78	130	468	0,021467	0,015162	29,37066195
	257,78	185	459	0,025218	0,017056	32,36577048
	257,78	250	447	0,033756	0,020885	38,12951772
	257,78	370	426	0,081155	0,034571	57,40126918
	257,78	630	380	0,050761	0,13182	-159,6875554
	257,78	920	328	0,020043	0,022835	-13,93005039
	257,78	1250	269	0,012986	0,012843	1,101185892
257,78	2000	136	0,0085319	0,0076206	10,68109096	

Sumbu Z

15. Tabel Respon Getaran *Regular Boring Bar* dan *Boring Bar L/D 7,5* dengan Penambahan *Natural Rubber DVA*

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 240 mm		
7,5	257,78	36	485	0,093262	0,077106	17,3232399
	257,78	55	482	0,096918	0,079734	17,73045255
	257,78	75	478	0,10083	0,082523	18,15630269
	257,78	105	473	0,10502	0,085488	18,59836222
	257,78	130	468	0,11192	0,090303	19,31468906
	257,78	185	459	0,12243	0,097515	20,35040431
	257,78	250	447	0,14188	0,11046	22,14547505
	257,78	370	426	0,19654	0,14424	26,61035921
	257,78	630	380	0,73194	0,35107	52,03568599
	257,78	920	328	0,44291	0,83094	-87,60922083
	257,78	1250	269	0,17824	0,19932	-11,82675045
	257,78	2000	136	0,092971	0,090972	2,150132837

Sumbu X

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 240 mm		
7,5	257,78	36	485	0,13889	0,11805	15,00467996
	257,78	55	482	0,14449	0,12206	15,52356564
	257,78	75	478	0,15047	0,12631	16,05635675
	257,78	105	473	0,15689	0,13083	16,61036395
	257,78	130	468	0,16743	0,13818	17,46998746
	257,78	185	459	0,18351	0,14917	18,71287668
	257,78	250	447	0,21324	0,16888	20,80285125
	257,78	370	426	0,29664	0,22022	25,76186624
	257,78	630	380	1,1039	0,53143	51,85886403
	257,78	920	328	0,69048	1,323	-91,60583942
	257,78	1250	269	0,27879	0,30883	-10,77513541
	257,78	2000	136	0,14706	0,14032	4,583163335

Sumbu Y

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 240 mm		
7,5	257,78	36	485	0,0085625	0,0075998	11,24321168
	257,78	55	482	0,0089272	0,0078593	11,96231741
	257,78	75	478	0,0093172	0,0081347	12,69158116
	257,78	105	473	0,0097353	0,0084275	13,43358705
	257,78	130	468	0,010422	0,0089029	14,57589714
	257,78	185	459	0,01147	0,0096151	16,1717524
	257,78	250	447	0,013408	0,010893	18,75745823
	257,78	370	426	0,018852	0,014229	24,52259707
	257,78	630	380	0,072148	0,034652	51,97094861
	257,78	920	328	0,044784	0,082066	-83,2484816
	257,78	1250	269	0,018434	0,019694	-6,835195834
	257,78	2000	136	0,009938	0,0089957	9,48178708

Sumbu Z

16. Tabel Respon Getaran *Regular Boring Bar* dan *Boring Bar L/D 7,5* dengan Penambahan *Neophrene Rubber DVA*

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 240 mm		
7,5	257,78	36	485	0,093262	0,076905	17,53876177
	257,78	55	482	0,096918	0,079522	17,94919416
	257,78	75	478	0,10083	0,082299	18,37845879
	257,78	105	473	0,10502	0,085251	18,82403352
	257,78	130	468	0,11192	0,090045	19,54521086
	257,78	185	459	0,12243	0,097224	20,58809115
	257,78	250	447	0,14188	0,11011	22,39216239
	257,78	370	426	0,19654	0,14369	26,89020047
	257,78	630	380	0,73194	0,34853	52,38270897
	257,78	920	328	0,44291	0,84103	-89,88733603
	257,78	1250	269	0,17824	0,19963	-12,00067325
	257,78	2000	136	0,092971	0,090939	2,185627776

Sumbu X

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 240 mm		
7,5	257,78	36	485	0,13889	0,11775	15,22067823
	257,78	55	482	0,14449	0,12175	15,73811336
	257,78	75	478	0,15047	0,12599	16,26902373
	257,78	105	473	0,15689	0,13049	16,8270763
	257,78	130	468	0,16743	0,1378	17,69694798
	257,78	185	459	0,18351	0,14874	18,94719634
	257,78	250	447	0,21324	0,16836	21,04670793
	257,78	370	426	0,29664	0,2194	26,03829558
	257,78	630	380	1,1039	0,52766	52,20038047
	257,78	920	328	0,69048	1,3395	-93,9954814
	257,78	1250	269	0,27879	0,30929	-10,94013415
	257,78	2000	136	0,14706	0,14026	4,623963008

Sumbu Y

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 240 mm		
7,5	257,78	36	485	0,0085625	0,0075879	11,38218978
	257,78	55	482	0,0089272	0,0078463	12,10793978
	257,78	75	478	0,0093172	0,0081206	12,84291418
	257,78	105	473	0,0097353	0,0084121	13,59177426
	257,78	130	468	0,010422	0,0088854	14,74381117
	257,78	185	459	0,01147	0,0095943	16,35309503
	257,78	250	447	0,013408	0,010866	18,95883055
	257,78	370	426	0,018852	0,014182	24,77190749
	257,78	630	380	0,072148	0,034407	52,31052836
	257,78	920	328	0,044784	0,083052	-85,45016077
	257,78	1250	269	0,018434	0,019716	-6,954540523
	257,78	2000	136	0,009938	0,0089844	9,595492051

Sumbu Z

17. Tabel Respon Getaran *Regular Boring Bar* dan *Boring Bar L/D 8* dengan Penambahan *Natural Rubber DVA*

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 256 mm		
8	257,78	36	485	0,067904	0,057096	15,91658812
	257,78	55	482	0,070042	0,058773	16,08891808
	257,78	75	478	0,072292	0,060531	16,26874343
	257,78	105	473	0,074663	0,062375	16,45795106
	257,78	130	468	0,078469	0,065319	16,75821025
	257,78	185	459	0,084067	0,069613	17,19342905
	257,78	250	447	0,09382	0,076991	17,93753997
	257,78	370	426	0,11762	0,094466	19,68542765
	257,78	630	380	0,22563	0,16545	26,67198511
	257,78	920	328	2,0078	0,60749	69,74350035
	257,78	1250	269	0,32081	0,41629	-29,76216452
257,78	2000	136	0,11596	0,11654	-0,500172473	

Sumbu X

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 256 mm		
8	257,78	36	485	0,099694	0,085951	13,78518266
	257,78	55	482	0,10296	0,088509	14,03554779
	257,78	75	478	0,10641	0,09119	14,303167
	257,78	105	473	0,11003	0,094002	14,56693629
	257,78	130	468	0,11585	0,09849	14,98489426
	257,78	185	459	0,12441	0,10503	15,57752592
	257,78	250	447	0,13933	0,11627	16,55063518
	257,78	370	426	0,17569	0,14287	18,68063066
	257,78	630	380	0,34056	0,25055	26,42999765
	257,78	920	328	3,021	0,90923	69,90301225
	257,78	1250	269	0,49624	0,64781	-30,54368854
257,78	2000	136	0,18165	0,18029	0,748692541	

Sumbu Y

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 256 mm		
8	257,78	36	485	0,0055306	0,0047131	14,78139804
	257,78	55	482	0,0057324	0,0048702	15,0408206
	257,78	75	478	0,0059447	0,0050349	15,30438878
	257,78	105	473	0,0061683	0,0052076	15,5747937
	257,78	130	468	0,0065271	0,0054832	15,99332016
	257,78	185	459	0,0070547	0,0058851	16,57901824
	257,78	250	447	0,0079734	0,0065752	17,53580656
	257,78	370	426	0,010213	0,0082083	19,62890434
	257,78	630	380	0,020366	0,014834	27,16291859
	257,78	920	328	0,18775	0,056053	70,1448735
	257,78	1250	269	0,030937	0,039392	-27,32973462
257,78	2000	136	0,011686	0,011434	2,156426493	

Sumbu Z

18. Tabel Respon Getaran *Regular Boring Bar* dan *Boring Bar L/D 8* dengan Penambahan *Neophrene Rubber DVA*

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 256 mm		
8	257,78	36	485	0,067904	0,059817	11,90946041
	257,78	55	482	0,070042	0,061485	12,21695554
	257,78	75	478	0,072292	0,063234	12,5297405
	257,78	105	473	0,074663	0,065069	12,84973816
	257,78	130	468	0,078469	0,067998	13,34412316
	257,78	185	459	0,084067	0,072271	14,03166522
	257,78	250	447	0,09382	0,079614	15,14176082
	257,78	370	426	0,11762	0,097007	17,52508077
	257,78	630	380	0,22563	0,16762	25,71023357
	257,78	920	328	2,0078	0,60459	69,88793705
	257,78	1250	269	0,32081	0,41524	-29,43486799
	257,78	2000	136	0,11596	0,11389	1,78509831

Sumbu X

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 256 mm		
8	257,78	36	485	0,099694	0,091381	8,338515859
	257,78	55	482	0,10296	0,093924	8,776223776
	257,78	75	478	0,10641	0,096589	9,229395733
	257,78	105	473	0,11003	0,099386	9,673725348
	257,78	130	468	0,11585	0,10385	10,35822184
	257,78	185	459	0,12441	0,11036	11,2933044
	257,78	250	447	0,13933	0,12154	12,76824804
	257,78	370	426	0,17569	0,148	15,7607149
	257,78	630	380	0,34056	0,2551	25,09396288
	257,78	920	328	3,021	0,9064	69,99668984
	257,78	1250	269	0,49624	0,64503	-29,98347574
	257,78	2000	136	0,18165	0,17505	3,633360859

Sumbu Y

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 256 mm		
8	257,78	36	485	0,0055306	0,0055774	-0,846201136
	257,78	55	482	0,0057324	0,0057329	-0,00872235
	257,78	75	478	0,0059447	0,0058959	0,820899288
	257,78	105	473	0,0061683	0,006067	1,642267724
	257,78	130	468	0,0065271	0,0063401	2,864978321
	257,78	185	459	0,0070547	0,0067385	4,482118304
	257,78	250	447	0,0079734	0,0074231	6,901698146
	257,78	370	426	0,010213	0,0090448	11,43836287
	257,78	630	380	0,020366	0,015628	23,26426397
	257,78	920	328	0,18775	0,056369	69,97656458
	257,78	1250	269	0,030937	0,038715	-25,14141643
	257,78	2000	136	0,011686	0,010619	9,130583604

Sumbu Z

19. Tabel Respon Getaran *Regular Boring Bar* dan *Boring Bar L/D 8,5* dengan Penambahan *Natural Rubber DVA*

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 272 mm		
8,5	257,78	36	485	0,053912	0,048001	10,96416382
	257,78	55	482	0,055419	0,049235	11,15862791
	257,78	75	478	0,056992	0,050521	11,35422515
	257,78	105	473	0,058635	0,05186	11,55453228
	257,78	130	468	0,061242	0,053979	11,85950818
	257,78	185	459	0,065011	0,057027	12,2809986
	257,78	250	447	0,071396	0,062152	12,94750406
	257,78	370	426	0,086072	0,073748	14,31824519
	257,78	630	380	0,13995	0,11422	18,38513755
	257,78	920	328	0,34932	0,24536	29,76067789
	257,78	1250	269	0,96153	3,9094	-306,5811779
	257,78	2000	136	0,14431	0,14469	-0,263322015

Sumbu X

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 272 mm		
8,5	257,78	36	485	0,078009	0,069345	11,1064108
	257,78	55	482	0,080309	0,071228	11,30757449
	257,78	75	478	0,082709	0,073188	11,51144374
	257,78	105	473	0,085216	0,075231	11,71728314
	257,78	130	468	0,089192	0,07846	12,03246928
	257,78	185	459	0,094941	0,083104	12,46774312
	257,78	250	447	0,10468	0,090906	13,15819641
	257,78	370	426	0,12705	0,10854	14,5690673
	257,78	630	380	0,20909	0,1699	18,74312497
	257,78	920	328	0,52712	0,36727	30,32516315
	257,78	1250	269	1,4829	7,0734	-376,9977746
	257,78	2000	136	0,2244	0,2256	-0,534759358

Sumbu Y

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 272 mm		
8,5	257,78	36	485	0,0038202	0,0038157	0,11779488
	257,78	55	482	0,0039554	0,0039254	0,758456793
	257,78	75	478	0,0040965	0,0040395	1,39143171
	257,78	105	473	0,0042438	0,0041584	2,012347424
	257,78	130	468	0,0044773	0,0043464	2,923637013
	257,78	185	459	0,0048147	0,0046167	4,112405757
	257,78	250	447	0,0053855	0,0050709	5,841611735
	257,78	370	426	0,0066956	0,0060976	8,931238425
	257,78	630	380	0,011493	0,0096752	15,81658401
	257,78	920	328	0,0301	0,021255	29,38538206
	257,78	1250	269	0,086312	0,34545	-300,2340347
	257,78	2000	136	0,013714	0,013155	4,076126586

Sumbu Z

20. Tabel Respon Getaran *Regular Boring Bar* dan *Boring Bar L/D 8,5* dengan Penambahan *Neophrene Rubber DVA*

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 272 mm		
8,5	257,78	36	485	0,053912	0,049936	7,374981451
	257,78	55	482	0,055419	0,051164	7,67787221
	257,78	75	478	0,056992	0,052443	7,98182201
	257,78	105	473	0,058635	0,053776	8,286859384
	257,78	130	468	0,061242	0,055885	8,747264949
	257,78	185	459	0,065011	0,05892	9,369183677
	257,78	250	447	0,071396	0,064022	10,32830971
	257,78	370	426	0,086072	0,075571	12,20025095
	257,78	630	380	0,13995	0,11588	17,19899964
	257,78	920	328	0,34932	0,24633	29,48299553
	257,78	1250	269	0,96153	4,0649	-322,7533202
257,78	2000	136	0,14431	0,14286	1,004781373	

Sumbu X

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 272 mm		
8,5	257,78	36	485	0,078009	0,076078	2,475355408
	257,78	55	482	0,080309	0,077945	2,943630228
	257,78	75	478	0,082709	0,07989	3,408335248
	257,78	105	473	0,085216	0,081916	3,872512204
	257,78	130	468	0,089192	0,085121	4,564310701
	257,78	185	459	0,094941	0,089733	5,485512055
	257,78	250	447	0,10468	0,097484	6,874283531
	257,78	370	426	0,12705	0,11502	9,468713105
	257,78	630	380	0,20909	0,17607	15,79224257
	257,78	920	328	0,52712	0,37237	29,35764152
	257,78	1250	269	1,4829	7,4083	-399,5819003
257,78	2000	136	0,2244	0,21934	2,254901961	

Sumbu Y

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 272 mm		
8,5	257,78	36	485	0,0038202	0,0044074	-15,37092299
	257,78	55	482	0,0039554	0,0045158	-14,1679729
	257,78	75	478	0,0040965	0,0046287	-12,99157818
	257,78	105	473	0,0042438	0,0047463	-11,84080305
	257,78	130	468	0,0044773	0,0049324	-10,16460813
	257,78	185	459	0,0048147	0,0052003	-8,008806364
	257,78	250	447	0,0053855	0,0056506	-4,922477022
	257,78	370	426	0,0066956	0,0066698	0,385327678
	257,78	630	380	0,011493	0,010227	11,01540068
	257,78	920	328	0,0301	0,02174	27,77408638
	257,78	1250	269	0,086312	0,35878	-315,6780054
257,78	2000	136	0,013714	0,012608	8,064751349	

Sumbu Z

21. Tabel Respon Getaran *Regular Boring Bar* dan *Boring Bar L/D 9* dengan Penambahan *Natural Rubber DVA*

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 288 mm		
9	257,78	36	485	0,044678	0,041689	6,690093558
	257,78	55	482	0,04585	0,042673	6,929116685
	257,78	75	478	0,047068	0,043695	7,166227586
	257,78	105	473	0,048333	0,044755	7,402809675
	257,78	130	468	0,050327	0,046422	7,759254476
	257,78	185	459	0,05318	0,0488	8,236179015
	257,78	250	447	0,057935	0,052746	8,956589281
	257,78	370	426	0,06851	0,06144	10,31966136
	257,78	630	380	0,10357	0,08945	13,63329149
	257,78	920	328	0,20082	0,16099	19,8336819
	257,78	1250	269	1,3133	0,62129	52,69245412
	257,78	2000	136	0,18068	0,18284	-1,195483728

Sumbu X

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 288 mm		
9	257,78	36	485	0,063672	0,058124	8,713406207
	257,78	55	482	0,065458	0,05963	8,903418986
	257,78	75	478	0,067312	0,061191	9,09347516
	257,78	105	473	0,069239	0,062811	9,28378515
	257,78	130	468	0,072275	0,065356	9,573158077
	257,78	185	459	0,076618	0,068985	9,962410922
	257,78	250	447	0,083854	0,075001	10,55763589
	257,78	370	426	0,099941	0,088237	11,71090944
	257,78	630	380	0,15323	0,13076	14,66423024
	257,78	920	328	0,30081	0,23886	20,59439513
	257,78	1250	269	1,972	0,92203	53,24391481
	257,78	2000	136	0,27928	0,2847	-1,940704669

Sumbu Y

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 288 mm		
9	257,78	36	485	0,0026865	0,058124	-2063,558533
	257,78	55	482	0,0027872	0,05963	-2039,423077
	257,78	75	478	0,0028917	0,061191	-2016,090881
	257,78	105	473	0,0030002	0,062811	-1993,560429
	257,78	130	468	0,003171	0,065356	-1961,053295
	257,78	185	459	0,003415	0,068985	-1920,058565
	257,78	250	447	0,0038209	0,075001	-1862,914497
	257,78	370	426	0,0047211	0,088237	-1768,992396
	257,78	630	380	0,0076923	0,13076	-1599,8817
	257,78	920	328	0,015903	0,23886	-1401,980758
	257,78	1250	269	0,10966	0,92203	-740,8079519
	257,78	2000	136	0,016205	0,2847	-1656,865165

Sumbu Z

22. Tabel Respon Getaran *Regular Boring Bar* dan *Boring Bar L/D 9* dengan Penambahan *Neophrene Rubber DVA*

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 288 mm		
9	257,78	36	485	0,044678	0,042127	5,709745289
	257,78	55	482	0,04585	0,043109	5,978189749
	257,78	75	478	0,047068	0,044127	6,248406561
	257,78	105	473	0,048333	0,045184	6,515217346
	257,78	130	468	0,050327	0,046846	6,916764361
	257,78	185	459	0,05318	0,049218	7,450169237
	257,78	250	447	0,057935	0,053153	8,254077846
	257,78	370	426	0,06851	0,061823	9,760618888
	257,78	630	380	0,10357	0,089754	13,3397702
	257,78	920	328	0,20082	0,16105	19,8038044
	257,78	1250	269	1,3133	0,6178	52,95819691
	257,78	2000	136	0,18068	0,18244	-0,974097853

Sumbu X

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 288 mm		
9	257,78	36	485	0,063672	0,058646	7,893579595
	257,78	55	482	0,065458	0,060148	8,112071863
	257,78	75	478	0,067312	0,061705	8,329866889
	257,78	105	473	0,069239	0,06332	8,548650327
	257,78	130	468	0,072275	0,065858	8,878588724
	257,78	185	459	0,076618	0,069478	9,318958991
	257,78	250	447	0,083854	0,075478	9,98879004
	257,78	370	426	0,099941	0,08868	11,26764791
	257,78	630	380	0,15323	0,13109	14,44886772
	257,78	920	328	0,30081	0,23883	20,60436821
	257,78	1250	269	1,972	0,91684	53,50709939
	257,78	2000	136	0,27928	0,28422	-1,768834145

Sumbu Y

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 288 mm		
9	257,78	36	485	0,0026865	0,0032637	-21,4852038
	257,78	55	482	0,0027872	0,0033465	-20,06673364
	257,78	75	478	0,0028917	0,0034325	-18,70180171
	257,78	105	473	0,0030002	0,0035216	-17,37884141
	257,78	130	468	0,003171	0,0036617	-15,47461369
	257,78	185	459	0,003415	0,0038616	-13,07759883
	257,78	250	447	0,0038209	0,004193	-9,738543275
	257,78	370	426	0,0047211	0,0049225	-4,265954968
	257,78	630	380	0,0076923	0,0072692	5,5003055
	257,78	920	328	0,015903	0,013251	16,67609885
	257,78	1250	269	0,10966	0,051549	52,9919752
	257,78	2000	136	0,016205	0,015536	4,128355446

Sumbu Z

23. Tabel Respon Getaran *Regular Boring Bar* dan *Boring Bar L/D 9,5* dengan Penambahan *Natural Rubber DVA*

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 304 mm		
9,5	257,78	36	485	0,037874	0,036854	2,693140413
	257,78	55	482	0,038846	0,037682	2,996447511
	257,78	75	478	0,039852	0,038539	3,294690354
	257,78	105	473	0,040893	0,039425	3,589856455
	257,78	130	468	0,042526	0,040813	4,028123971
	257,78	185	459	0,044848	0,042784	4,602211916
	257,78	250	447	0,048675	0,046023	5,448382126
	257,78	370	426	0,057014	0,05304	6,970217841
	257,78	630	380	0,083063	0,074574	10,21995353
	257,78	920	328	0,14469	0,12312	14,90773378
	257,78	1250	269	0,42678	0,30881	27,64187638
257,78	2000	136	0,22801	0,23526	-3,179685102	

Sumbu X

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 304 mm		
9,5	257,78	36	485	0,05302	0,0496	6,450396077
	257,78	55	482	0,054497	0,050871	6,653577261
	257,78	75	478	0,056026	0,052185	6,855745547
	257,78	105	473	0,057608	0,053544	7,054575753
	257,78	130	468	0,06009	0,05567	7,355633217
	257,78	185	459	0,063616	0,058685	7,751194668
	257,78	250	447	0,069428	0,063637	8,341015152
	257,78	370	426	0,082082	0,07434	9,432031383
	257,78	630	380	0,12157	0,10707	11,92728469
	257,78	920	328	0,21481	0,18055	15,94897817
	257,78	1250	269	0,63955	0,45956	28,14322571
257,78	2000	136	0,35104	0,36481	-3,9226299	

Sumbu Y

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 304 mm		
9,5	257,78	36	485	0,0018332	0,0025654	-39,94108662
	257,78	55	482	0,0019137	0,0026325	-37,5607462
	257,78	75	478	0,0019969	0,0027018	-35,29971456
	257,78	105	473	0,0020829	0,0027735	-33,15569638
	257,78	130	468	0,0022175	0,0028858	-30,13754228
	257,78	185	459	0,0024084	0,0030449	-26,42833416
	257,78	250	447	0,0027222	0,0033062	-21,45323635
	257,78	370	426	0,0034025	0,0038711	-13,7722263
	257,78	630	380	0,005512	0,0055989	-1,576560232
	257,78	920	328	0,010469	0,0094835	9,413506543
	257,78	1250	269	0,03308	0,024318	26,48730351
257,78	2000	136	0,019328	0,019115	1,102028146	

Sumbu Z

24. Tabel Respon Getaran *Regular Boring Bar* dan *Boring Bar L/D 9,5* dengan Penambahan *Neophrene Rubber DVA*

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 304 mm		
9,5	257,78	36	485	0,037874	0,036803	2,827797434
	257,78	55	482	0,038846	0,03763	3,130309427
	257,78	75	478	0,039852	0,038485	3,430191709
	257,78	105	473	0,040893	0,03937	3,724353801
	257,78	130	468	0,042526	0,040756	4,16215962
	257,78	185	459	0,044848	0,042722	4,740456654
	257,78	250	447	0,048675	0,045956	5,586029789
	257,78	370	426	0,057014	0,052961	7,1087803
	257,78	630	380	0,083063	0,07445	10,36923781
	257,78	920	328	0,14469	0,12288	15,07360564
	257,78	1250	269	0,42678	0,30779	27,88087539
	257,78	2000	136	0,22801	0,23538	-3,232314372

Sumbu X

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 304 mm		
9,5	257,78	36	485	0,05302	0,049692	6,27687665
	257,78	55	482	0,054497	0,05096	6,490265519
	257,78	75	478	0,056026	0,052272	6,7004605
	257,78	105	473	0,057608	0,053628	6,908762672
	257,78	130	468	0,06009	0,05575	7,222499584
	257,78	185	459	0,063616	0,058759	7,63487173
	257,78	250	447	0,069428	0,063701	8,248833324
	257,78	370	426	0,082082	0,074383	9,379644745
	257,78	630	380	0,12157	0,10704	11,95196183
	257,78	920	328	0,21481	0,18033	16,05139426
	257,78	1250	269	0,63955	0,45819	28,35743882
	257,78	2000	136	0,35104	0,36484	-3,931175934

Sumbu Y

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 304 mm		
9,5	257,78	36	485	0,0018332	0,0025607	-39,68470434
	257,78	55	482	0,0019137	0,0026277	-37,30992319
	257,78	75	478	0,0019969	0,0026969	-35,05433422
	257,78	105	473	0,0020829	0,0027685	-32,91564645
	257,78	130	468	0,0022175	0,0028806	-29,90304397
	257,78	185	459	0,0024084	0,0030394	-26,19996678
	257,78	250	447	0,0027222	0,0033003	-21,23649989
	257,78	370	426	0,0034025	0,0038641	-13,56649522
	257,78	630	380	0,005512	0,0055884	-1,386066763
	257,78	920	328	0,010469	0,0094633	9,606457159
	257,78	1250	269	0,03308	0,024236	26,73518742
	257,78	2000	136	0,019328	0,019125	1,050289735

Sumbu Z

25. Tabel Respon Getaran *Regular Boring Bar* dan *Boring Bar L/D 10* dengan Penambahan *Natural Rubber DVA*

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 320 mm		
10	257,78	36	485	0,032399	0,034388	-6,139078367
	257,78	55	482	0,033239	0,035106	-5,616895815
	257,78	75	478	0,034107	0,035847	-5,101592049
	257,78	105	473	0,035002	0,036613	-4,602594137
	257,78	130	468	0,036402	0,037809	-3,865172243
	257,78	185	459	0,038381	0,0395	-2,915505068
	257,78	250	447	0,041619	0,042265	-1,552175689
	257,78	370	426	0,048569	0,048188	0,784450987
	257,78	630	380	0,069429	0,065811	5,211078944
	257,78	920	328	0,1143	0,10269	10,15748031
	257,78	1250	269	0,26381	0,21518	18,43372124
	257,78	2000	136	0,29453	0,30775	-4,488507113

Sumbu X

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 320 mm		
10	257,78	36	485	0,04441	0,042939	3,312317046
	257,78	55	482	0,045687	0,044054	3,574320923
	257,78	75	478	0,047006	0,045203	3,835680551
	257,78	105	473	0,048367	0,046389	4,089565199
	257,78	130	468	0,050494	0,048239	4,465877134
	257,78	185	459	0,0535	0,050849	4,955140187
	257,78	250	447	0,058416	0,055108	5,662832101
	257,78	370	426	0,068959	0,064196	6,907002712
	257,78	630	380	0,10056	0,091064	9,443118536
	257,78	920	328	0,16844	0,14693	12,77012586
	257,78	1250	269	0,39405	0,31613	19,77414034
	257,78	2000	136	0,45145	0,47798	-5,876619781

Sumbu Y

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 320 mm		
10	257,78	36	485	0,0011319	0,0024381	-115,3988868
	257,78	55	482	0,0011997	0,0024933	-107,8269567
	257,78	75	478	0,0012696	0,0025503	-100,8742911
	257,78	105	473	0,0013416	0,0026092	-94,48419797
	257,78	130	468	0,0014538	0,0027011	-85,79584537
	257,78	185	459	0,0016119	0,0028309	-75,62503877
	257,78	250	447	0,0018692	0,0030431	-62,80226835
	257,78	370	426	0,0024171	0,0034968	-44,66923172
	257,78	630	380	0,0040419	0,0048438	-19,83967936
	257,78	920	328	0,0074989	0,007657	-2,108309219
	257,78	1250	269	0,018943	0,016228	14,3324711
	257,78	2000	136	0,023659	0,02359	0,291643772

Sumbu Z

26. Tabel Respon Getaran *Regular Boring Bar* dan *Boring Bar L/D 10* dengan Penambahan *Neophrene Rubber DVA*

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 320 mm		
10	257,78	36	485	0,032399	0,03431	-5,898330195
	257,78	55	482	0,033239	0,035027	-5,379223202
	257,78	75	478	0,034107	0,035767	-4,867036092
	257,78	105	473	0,035002	0,036532	-4,37117879
	257,78	130	468	0,036402	0,037726	-3,637162793
	257,78	185	459	0,038381	0,039415	-2,694041323
	257,78	250	447	0,041619	0,042176	-1,338331051
	257,78	370	426	0,048569	0,04809	0,986225782
	257,78	630	380	0,069429	0,065683	5,395439946
	257,78	920	328	0,1143	0,10249	10,33245844
	257,78	1250	269	0,26381	0,21464	18,63841401
	257,78	2000	136	0,29453	0,30803	-4,583573829

Sumbu X

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 320 mm		
10	257,78	36	485	0,04441	0,042965	3,253771673
	257,78	55	482	0,045687	0,044078	3,521789568
	257,78	75	478	0,047006	0,045225	3,788878016
	257,78	105	473	0,048367	0,046409	4,048214692
	257,78	130	468	0,050494	0,048256	4,432209767
	257,78	185	459	0,0535	0,050863	4,928971963
	257,78	250	447	0,058416	0,055114	5,652560942
	257,78	370	426	0,068959	0,064186	6,921504082
	257,78	630	380	0,10056	0,091006	9,500795545
	257,78	920	328	0,16844	0,14675	12,87698884
	257,78	1250	269	0,39405	0,31546	19,94416952
	257,78	2000	136	0,45145	0,47825	-5,936427068

Sumbu Y

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 320 mm		
10	257,78	36	485	0,0011319	0,0024265	-114,3740613
	257,78	55	482	0,0011997	0,0024817	-106,8600483
	257,78	75	478	0,0012696	0,0025386	-99,95274102
	257,78	105	473	0,0013416	0,0025974	-93,60465116
	257,78	130	468	0,0014538	0,0026892	-84,97730087
	257,78	185	459	0,0016119	0,0028189	-74,88057572
	257,78	250	447	0,0018692	0,0030308	-62,14423283
	257,78	370	426	0,0024171	0,0034839	-44,13553432
	257,78	630	380	0,0040419	0,0048287	-19,46609268
	257,78	920	328	0,0074989	0,0076363	-1,832268733
	257,78	1250	269	0,018943	0,016181	14,58058386
	257,78	2000	136	0,023659	0,023616	0,181749017

Sumbu Z

27. Tabel Respon Getaran *Regular Boring Bar* dan *Boring Bar L/D 10,5* dengan Penambahan *Natural Rubber DVA*

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 336 mm		
10,5	257,78	36	485	0,027691	0,031736	-14,60763425
	257,78	55	482	0,028442	0,032375	-13,82814148
	257,78	75	478	0,029216	0,033034	-13,06818182
	257,78	105	473	0,030014	0,033713	-12,32424868
	257,78	130	468	0,031256	0,034773	-11,25223957
	257,78	185	459	0,033005	0,036267	-9,883351007
	257,78	250	447	0,035848	0,0387	-7,955813435
	257,78	370	426	0,041879	0,043867	-4,747009241
	257,78	630	380	0,059459	0,058898	0,943507291
	257,78	920	328	0,094961	0,088799	6,488979686
	257,78	1250	269	0,19498	0,1688	13,42701816
	257,78	2000	136	0,39263	0,42315	-7,773221608

Sumbu X

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 336 mm		
10,5	257,78	36	485	0,03694	0,036963	-0,062263129
	257,78	55	482	0,038083	0,037972	0,291468634
	257,78	75	478	0,039259	0,039009	0,636796658
	257,78	105	473	0,040471	0,040077	0,973536606
	257,78	130	468	0,042359	0,041739	1,463679501
	257,78	185	459	0,045015	0,044074	2,090414306
	257,78	250	447	0,04933	0,047862	2,975876748
	257,78	370	426	0,058474	0,055859	4,472073058
	257,78	630	380	0,085083	0,078901	7,265846291
	257,78	920	328	0,13873	0,12432	10,38708282
	257,78	1250	269	0,28961	0,24498	15,41037948
	257,78	2000	136	0,59903	0,65408	-9,189856935

Sumbu Y

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 336 mm		
10,5	257,78	36	485	0,0005131	0,0021587	-320,7172091
	257,78	55	482	0,00057312	0,0022059	-284,8932161
	257,78	75	478	0,00063469	0,0022545	-255,212781
	257,78	105	473	0,00069788	0,0023046	-230,2286926
	257,78	130	468	0,00079591	0,0023827	-199,368019
	257,78	185	459	0,00093311	0,0024926	-167,1282057
	257,78	250	447	0,0011544	0,0026715	-131,4189189
	257,78	370	426	0,0016182	0,0030508	-88,53046595
	257,78	630	380	0,0029448	0,0041511	-40,96373268
	257,78	920	328	0,0055769	0,0063347	-13,58819416
	257,78	1250	269	0,012915	0,012168	5,783972125
	257,78	2000	136	0,029939	0,03096	-3,410267544

Sumbu Z

28. Tabel Respon Getaran *Regular Boring Bar* dan *Boring Bar L/D 10,5* dengan Penambahan *Neophrene Rubber DVA*

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 336 mm		
10,5	257,78	36	485	0,027691	0,03181	-14,87486909
	257,78	55	482	0,028442	0,032448	-14,08480416
	257,78	75	478	0,029216	0,033106	-13,31462212
	257,78	105	473	0,030014	0,033784	-12,56080496
	257,78	130	468	0,031256	0,034842	-11,47299718
	257,78	185	459	0,033005	0,036333	-10,08332071
	257,78	250	447	0,035848	0,038761	-8,125976345
	257,78	370	426	0,041879	0,043919	-4,871176485
	257,78	630	380	0,059459	0,058924	0,89977968
	257,78	920	328	0,094961	0,08877	6,519518539
	257,78	1250	269	0,19498	0,16859	13,53472151
	257,78	2000	136	0,39263	0,4235	-7,862364058

Sumbu X

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 336 mm		
10,5	257,78	36	485	0,03694	0,037042	-0,276123443
	257,78	55	482	0,038083	0,038049	0,089278681
	257,78	75	478	0,039259	0,039085	0,443210474
	257,78	105	473	0,040471	0,040151	0,79068963
	257,78	130	468	0,042359	0,04181	1,296064591
	257,78	185	459	0,045015	0,044141	1,941575031
	257,78	250	447	0,04933	0,047923	2,852219745
	257,78	370	426	0,058474	0,055906	4,391695454
	257,78	630	380	0,085083	0,07891	7,255268385
	257,78	920	328	0,13873	0,12424	10,44474879
	257,78	1250	269	0,28961	0,24463	15,53123166
	257,78	2000	136	0,59903	0,65466	-9,286680133

Sumbu Y

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 336 mm		
10,5	257,78	36	485	0,0005131	0,0021825	-325,3556812
	257,78	55	482	0,00057312	0,0022295	-289,0110274
	257,78	75	478	0,00063469	0,002278	-258,915376
	257,78	105	473	0,00069788	0,0023279	-233,5673755
	257,78	130	468	0,00079591	0,0024057	-202,257793
	257,78	185	459	0,00093311	0,0025154	-169,5716475
	257,78	250	447	0,0011544	0,0026937	-133,3419958
	257,78	370	426	0,0016182	0,003072	-89,84056359
	257,78	630	380	0,0029448	0,0041698	-41,59875034
	257,78	920	328	0,0055769	0,0063487	-13,83922968
	257,78	1250	269	0,012915	0,012168	5,783972125
	257,78	2000	136	0,029939	0,03097	-3,443668793

Sumbu Z

29. Tabel Respon Getaran *Regular Boring Bar* dan *Boring Bar L/D 11* dengan Penambahan *Natural Rubber DVA*

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 352 mm		
11	257,78	36	485	0,023393	0,030167	-28,95738041
	257,78	55	482	0,024085	0,030743	-27,64376168
	257,78	75	478	0,024796	0,031337	-26,37925472
	257,78	105	473	0,025527	0,031948	-25,15375877
	257,78	130	468	0,026662	0,032901	-23,40034506
	257,78	185	459	0,028253	0,034243	-21,20128836
	257,78	250	447	0,030825	0,03642	-18,15085158
	257,78	370	426	0,036224	0,04102	-13,23984099
	257,78	630	380	0,051592	0,054201	-5,056985579
	257,78	920	328	0,081224	0,079537	2,076972323
	257,78	1250	269	0,1564	0,14196	9,232736573
257,78	2000	136	0,55183	0,61933	-12,23202798	

Sumbu X

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 352 mm		
11	257,78	36	485	0,03008	0,031773	-5,628324468
	257,78	55	482	0,031134	0,032709	-5,058778185
	257,78	75	478	0,032216	0,033669	-4,510181276
	257,78	105	473	0,033329	0,034656	-3,981517597
	257,78	130	468	0,035055	0,036187	-3,229211239
	257,78	185	459	0,037475	0,038331	-2,28418946
	257,78	250	447	0,041381	0,041788	-0,983543172
	257,78	370	426	0,049571	0,049019	1,113554296
	257,78	630	380	0,072829	0,069415	4,687693089
	257,78	920	328	0,11758	0,10805	8,105119918
	257,78	1250	269	0,23091	0,20226	12,40743147
257,78	2000	136	0,83909	0,95889	-14,27737191	

Sumbu Y

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 352 mm		
11	257,78	36	485	0,000065695	0,0020673	-3046,814826
	257,78	55	482	0,000010137	0,0021077	-20692,14758
	257,78	75	478	0,000046618	0,0021493	-4510,450899
	257,78	105	473	0,00010463	0,0021922	-1995,192583
	257,78	130	468	0,00019416	0,002259	-1063,473424
	257,78	185	459	0,00031858	0,0023529	-638,5586038
	257,78	250	447	0,00051731	0,0025054	-384,3130811
	257,78	370	426	0,00092702	0,0028272	-204,9772389
	257,78	630	380	0,0020599	0,0037485	-81,97485315
	257,78	920	328	0,0041856	0,0055178	-31,82817278
	257,78	1250	269	0,00949	0,0098754	-4,061116965
257,78	2000	136	0,039981	0,043247	-8,168880218	

Sumbu Z

30. Tabel Respon Getaran *Regular Boring Bar* dan *Boring Bar L/D 11* dengan Penambahan *Neophrene Rubber DVA*

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 352 mm		
11	257,78	36	485	0,023393	0,029777	-27,29021502
	257,78	55	482	0,024085	0,030355	-26,0328005
	257,78	75	478	0,024796	0,03095	-24,81851912
	257,78	105	473	0,025527	0,031562	-23,64163435
	257,78	130	468	0,026662	0,032516	-21,95634236
	257,78	185	459	0,028253	0,033859	-19,84214066
	257,78	250	447	0,030825	0,036039	-16,91484185
	257,78	370	426	0,036224	0,04064	-12,19081272
	257,78	630	380	0,051592	0,053817	-4,312684137
	257,78	920	328	0,081224	0,079127	2,581749237
	257,78	1250	269	0,1564	0,14145	9,558823529
257,78	2000	136	0,55183	0,6206	-12,46217132	

Sumbu X

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 352 mm		
11	257,78	36	485	0,03008	0,031592	-5,026595745
	257,78	55	482	0,031134	0,032527	-4,474208261
	257,78	75	478	0,032216	0,033487	-3,945244599
	257,78	105	473	0,033329	0,034473	-3,432446218
	257,78	130	468	0,035055	0,036004	-2,70717444
	257,78	185	459	0,037475	0,038146	-1,790527018
	257,78	250	447	0,041381	0,041602	-0,534061526
	257,78	370	426	0,049571	0,048826	1,502894838
	257,78	630	380	0,072829	0,069201	4,981532082
	257,78	920	328	0,11758	0,10778	8,334750808
	257,78	1250	269	0,23091	0,20182	12,5979819
	257,78	2000	136	0,83909	0,96055	-14,47520528

Sumbu Y

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 352 mm		
11	257,78	36	485	0,000065695	0,0019844	-2920,625618
	257,78	55	482	0,000010137	0,0020251	-19877,31084
	257,78	75	478	0,000046618	0,0020671	-4334,124158
	257,78	105	473	0,00010463	0,0021103	-1916,916754
	257,78	130	468	0,00019416	0,0021775	-1021,497734
	257,78	185	459	0,00031858	0,002272	-613,1646682
	257,78	250	447	0,00051731	0,0024253	-368,8291353
	257,78	370	426	0,00092702	0,0027485	-196,4876702
	257,78	630	380	0,0020599	0,0036717	-78,24651682
	257,78	920	328	0,0041856	0,0054412	-29,99808869
	257,78	1250	269	0,00949	0,009793	-3,192834563
	257,78	2000	136	0,039981	0,04338	-8,501538231

Sumbu Z

31. Tabel Respon Getaran *Regular Boring Bar* dan *Boring Bar L/D 11,5* dengan Penambahan *Natural Rubber DVA*

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 368 mm		
11,5	257,78	36	485	0,019244	0,028592	-48,57617959
	257,78	55	482	0,019899	0,02912	-46,33901201
	257,78	75	478	0,020571	0,029662	-44,1932818
	257,78	105	473	0,021259	0,030221	-42,15626323
	257,78	130	468	0,022325	0,031091	-39,26539754
	257,78	185	459	0,023813	0,032314	-35,69898795
	257,78	250	447	0,026203	0,034294	-30,87814372
	257,78	370	426	0,031167	0,038461	-23,40295826
	257,78	630	380	0,044995	0,050264	-11,71019002
	257,78	920	328	0,070699	0,072382	-2,380514576
	257,78	1250	269	0,13139	0,12384	5,746251617
257,78	2000	136	0,84753	1,0493	-23,8068269	

Sumbu X

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 368 mm		
11,5	257,78	36	485	0,023442	0,026562	-13,30944459
	257,78	55	482	0,024443	0,027455	-12,32254633
	257,78	75	478	0,025467	0,028369	-11,39513881
	257,78	105	473	0,026517	0,029306	-10,51778105
	257,78	130	468	0,028142	0,030755	-9,285054367
	257,78	185	459	0,030408	0,032774	-7,780847145
	257,78	250	447	0,034043	0,036012	-5,783861587
	257,78	370	426	0,04158	0,042715	-2,72967773
	257,78	630	380	0,06251	0,061243	2,0268757
	257,78	920	328	0,1013	0,095188	6,033563672
	257,78	1250	269	0,19269	0,17303	10,2029166
257,78	2000	136	1,2871	1,6295	-26,60243959	

Sumbu Y

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 368 mm		
11,5	257,78	36	485	0,000638	0,0019263	-201,9278997
	257,78	55	482	0,00058404	0,0019616	-235,8674063
	257,78	75	478	0,0005292	0,0019979	-277,532124
	257,78	105	473	0,00047343	0,0020352	-329,8840378
	257,78	130	468	0,00038788	0,0020934	-439,7030009
	257,78	185	459	0,00026999	0,0021752	-705,6594689
	257,78	250	447	0,000083839	0,0023077	-2652,537602
	257,78	370	426	0,00029281	0,0025864	-783,3031659
	257,78	630	380	0,0012981	0,0033764	-160,1032278
	257,78	920	328	0,0030918	0,0048574	-57,10589301
	257,78	1250	269	0,0072216	0,0083037	-14,98421402
257,78	2000	136	0,058328	0,070267	-20,46872857	

Sumbu Z

32. Tabel Respon Getaran *Regular Boring Bar* dan *Boring Bar L/D 11,5* dengan Penambahan *Neophrene Rubber DVA*

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 368 mm		
11,5	257,78	36	485	0,019244	0,027964	-45,31282478
	257,78	55	482	0,019899	0,028495	-43,19815066
	257,78	75	478	0,020571	0,02904	-41,1696077
	257,78	105	473	0,021259	0,029602	-39,24455525
	257,78	130	468	0,022325	0,030476	-36,5106383
	257,78	185	459	0,023813	0,031703	-33,13316256
	257,78	250	447	0,026203	0,033691	-28,57688051
	257,78	370	426	0,031167	0,037868	-21,50030481
	257,78	630	380	0,044995	0,049684	-10,42115791
	257,78	920	328	0,070699	0,071797	-1,553062985
	257,78	1250	269	0,13139	0,1232	6,233351092
257,78	2000	136	0,84753	1,0526	-24,19619365	

Sumbu X

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 368 mm		
11,5	257,78	36	485	0,023442	0,026211	-11,81213207
	257,78	55	482	0,024443	0,027105	-10,89064354
	257,78	75	478	0,025467	0,02802	-10,0247379
	257,78	105	473	0,026517	0,028958	-9,205415394
	257,78	130	468	0,028142	0,030408	-8,052021889
	257,78	185	459	0,030408	0,032429	-6,646277295
	257,78	250	447	0,034043	0,035668	-4,773374849
	257,78	370	426	0,04158	0,042372	-1,904761905
	257,78	630	380	0,06251	0,060892	2,588385858
	257,78	920	328	0,1013	0,094805	6,411648569
	257,78	1250	269	0,19269	0,17254	10,45721106
257,78	2000	136	1,2871	1,6344	-26,98314039	

Sumbu Y

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 368 mm		
11,5	257,78	36	485	0,000638	0,0017941	-181,2068966
	257,78	55	482	0,00058404	0,0018301	-213,3518252
	257,78	75	478	0,0005292	0,0018671	-252,8155707
	257,78	105	473	0,00047343	0,0019052	-302,4248569
	257,78	130	468	0,00038788	0,0019644	-406,4452924
	257,78	185	459	0,00026999	0,0020474	-658,3243824
	257,78	250	447	0,000083839	0,0021818	-2502,368826
	257,78	370	426	0,00029281	0,0024636	-741,3647075
	257,78	630	380	0,0012981	0,0032587	-151,0361297
	257,78	920	328	0,0030918	0,0047431	-53,4090174
	257,78	1250	269	0,0072216	0,0081886	-13,3903844
257,78	2000	136	0,058328	0,070558	-20,96763133	

Sumbu Z

33. Tabel Respon Getaran *Regular Boring Bar* dan *Boring Bar L/D 12* dengan Penambahan *Natural Rubber DVA*

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 384 mm		
12	257,78	36	485	0,015029	0,027021	-79,79240136
	257,78	55	482	0,01567	0,027509	-75,55201021
	257,78	75	478	0,016324	0,028012	-71,60009802
	257,78	105	473	0,016993	0,028529	-67,88677691
	257,78	130	468	0,018023	0,029333	-62,75314875
	257,78	185	459	0,019454	0,030462	-56,58476406
	257,78	250	447	0,021734	0,032288	-48,55986013
	257,78	370	426	0,026415	0,036115	-36,72155972
	257,78	630	380	0,039165	0,046858	-19,64253798
	257,78	920	328	0,062102	0,066597	-7,238092171
	257,78	1250	269	0,1134	0,11063	2,442680776
	257,78	2000	136	1,6096	2,7434	-70,43986083

Sumbu X

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 384 mm		
12	257,78	36	485	0,016718	0,02117	-26,62997966
	257,78	55	482	0,017699	0,02205	-24,58330979
	257,78	75	478	0,0187	0,022947	-22,71122995
	257,78	105	473	0,019722	0,023864	-21,00192678
	257,78	130	468	0,021296	0,025275	-18,68425995
	257,78	185	459	0,023479	0,027232	-15,98449678
	257,78	250	447	0,026953	0,030345	-12,58486996
	257,78	370	426	0,034065	0,036713	-7,773374431
	257,78	630	380	0,053359	0,053933	-1,075732304
	257,78	920	328	0,087932	0,08453	3,868898694
	257,78	1250	269	0,16503	0,1514	8,259104405
	257,78	2000	136	2,4561	4,336	-76,54004316

Sumbu Y

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 384 mm		
12	257,78	36	485	0,0012319	0,0017552	-42,47909733
	257,78	55	482	0,0011765	0,0017866	-51,85720357
	257,78	75	478	0,0011206	0,0018188	-62,30590755
	257,78	105	473	0,001064	0,0018521	-74,06954887
	257,78	130	468	0,00097794	0,0019038	-94,67451991
	257,78	185	459	0,00086053	0,0019764	-129,6724112
	257,78	250	447	0,00067777	0,0020938	-208,9248565
	257,78	370	426	0,00031625	0,00234	-639,9209486
	257,78	630	380	0,00061008	0,0030314	-396,8856543
	257,78	920	328	0,0021798	0,0043025	-97,38049362
	257,78	1250	269	0,0055614	0,0071389	-28,36515985
	257,78	2000	136	0,10526	0,17672	-67,88903667

Sumbu Z

34. Tabel Respon Getaran *Regular Boring Bar* dan *Boring Bar L/D 12* dengan Penambahan *Neophrene Rubber DVA*

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 384 mm		
12	257,78	36	485	0,015029	0,02651	-76,3923082
	257,78	55	482	0,01567	0,027001	-72,31014678
	257,78	75	478	0,016324	0,027507	-68,50649351
	257,78	105	473	0,016993	0,028027	-64,93261931
	257,78	130	468	0,018023	0,028835	-59,99001276
	257,78	185	459	0,019454	0,029969	-54,05058086
	257,78	250	447	0,021734	0,031802	-46,3237324
	257,78	370	426	0,026415	0,035639	-34,91955328
	257,78	630	380	0,039165	0,046395	-18,46036002
	257,78	920	328	0,062102	0,066134	-6,492544524
	257,78	1250	269	0,1134	0,11013	2,883597884
	257,78	2000	136	1,6096	2,7654	-71,80666004

Sumbu X

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 384 mm		
12	257,78	36	485	0,016718	0,020735	-24,02799378
	257,78	55	482	0,017699	0,021618	-22,14249393
	257,78	75	478	0,0187	0,022517	-20,41176471
	257,78	105	473	0,019722	0,023436	-18,83176148
	257,78	130	468	0,021296	0,02485	-16,68858002
	257,78	185	459	0,023479	0,026811	-14,19140509
	257,78	250	447	0,026953	0,029928	-11,03773235
	257,78	370	426	0,034065	0,036303	-6,569793043
	257,78	630	380	0,053359	0,053527	-0,314848479
	257,78	920	328	0,087932	0,084107	4,349952236
	257,78	1250	269	0,16503	0,1509	8,562079622
	257,78	2000	136	2,4561	4,3711	-77,96913806

Sumbu Y

Variasi L/D	Fm (N)	N (rpm)	Frekuensi Chatter (Hz)	Vibration Response With Cavity	Vibration Response With DVA	Reduction
				Customized D 32 mm L 384 mm		
12	257,78	36	485	0,0012319	0,0016526	-34,15049923
	257,78	55	482	0,0011765	0,0016847	-43,1959201
	257,78	75	478	0,0011206	0,0017177	-53,28395502
	257,78	105	473	0,001064	0,0017516	-64,62406015
	257,78	130	468	0,00097794	0,0018042	-84,489846
	257,78	185	459	0,00086053	0,001878	-118,2375978
	257,78	250	447	0,00067777	0,0019972	-194,6722339
	257,78	370	426	0,00031625	0,0022462	-610,2608696
	257,78	630	380	0,00061008	0,0029422	-382,264621
	257,78	920	328	0,0021798	0,0042165	-93,43517754
	257,78	1250	269	0,0055614	0,0070529	-26,81878664
	257,78	2000	136	0,10526	0,17818	-69,27607828

Sumbu Z

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Tuban, 22 Februari 1999, yang merupakan anak tunggal. Penulis telah menempuh pendidikan formal mulai dari TK Bhayangkari, SDN Kebonsari 1 Tuban, SMPN 1 Tuban, dan SMAN 1 Tuban. Setelah lulus dari SMAN 1 Tuban, Penulis diterima di Departemen Teknik Mesin FT-IRS ITS melalui jalur SNMPTN dan terdaftar dengan NRP 02111840000045. Penulis aktif di bidang akademik maupun non-akademik selama berkuliah di kampus. Di bidang akademik di Departemen Teknik Mesin, Penulis mempelajari Bidang Studi Desain di Laboratorium Rekayasa Vibrasi dan Sistem Otomotif. Selain itu, Penulis juga aktif sebagai *grader* dan *asisten praktikum* pada mata kuliah Mekanika Getaran.

Di bidang non-akademik, Penulis aktif sebagai Sekretaris Departemen di Departemen Umum Himpunan Mahasiswa Mesin serta menjadi Tim Basket Putri perwakilan Departemen Teknik Mesin FT-IRS ITS. Untuk informasi lebih lanjut mengenai penelitian ini beserta kritik dapat menghubungi Penulis melalui email: riantiwiw@gmail.com.