



TUGAS AKHIR - TM 184730

SIMULASI PEMODELAN DAN ANALISA RESPON GETARAN *BORING* BAR AKIBAT PENGARUH DVA DENGAN VARIASI JUMLAH MASSA BOLA, VARIASI JENIS KARET DAN VARIASI DIAMETER KARET PADA PROSES *BORING*

MUHAMMAD LUTHFI ATAKA RIZQI

NRP 02111740000166

Dosen Pembimbing

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

NIP 197004121997032003

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2022



TUGAS AKHIR - TM184835

**SIMULASI PEMODELAN DAN ANALISA RESPON GETARAN
BORING BAR AKIBAT PENGARUH DVA DENGAN VARIASI
JUMLAH MASSA BOLA, VARIASI JENIS KARET DAN VARIASI
DIAMETER KARET PADA PROSES *BORING***

MUHAMMAD LUTHFI ATAKA RIZQI

NRP 02111740000166

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

Halaman ini sengaja dikosongkan.



FINAL PROJECT - TM184835

SIMULATION MODELING AND ANALYSIS OF BORING BAR VIBRATION RESPONSE DUE TO THE EFFECT OF DVA WITH VARIATIONS OF NUMBER OF BALL MASS, VARIATIONS OF RUBBER TYPE AND VARIATION OF RUBBER DIAMETER IN THE BORING PROCESS

MUHAMMAD LUTHFI ATAKA RIZQI

NRP 02111740000166

Advisor Lecturer

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

NIP 197004121997032003

Study Program Mechanical Engineering Undergraduate

Departement of Mechanical Engineering

Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

Halaman ini sengaja dikosongkan.

HALAMAN PENGESAHAN

SIMULASI PEMODELAN DAN ANALISA RESPON GETARAN *BORING BAR* AKIBAT PENGARUH DVA DENGAN VARIASI JUMLAH MASSA BOLA, VARIASI JENIS KARET DAN VARIASI DIAMETER KARET PADA PROSES *BORING*

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi S-1 *Departemen Teknik Mesin*
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Muhammad Luthfi Attaka Rizqi

NRP. 02111740000166

Disetujui oleh Tim Penguji Proposal Tugas Akhir:

1. Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.
NIP. 19700412 199703 2 003



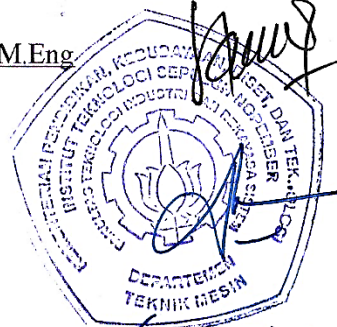
(Pembimbing)

2. Prof. Dr. Eng. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng.
NIP. 19750511 199903 1 001



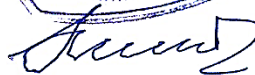
(Penguji I)

3. Aida Annisa Amin Daman, S.T., M.T.
NIP. 1989070 520154 2 005



(Penguji II)

4. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19510605 197803 1 002



(Penguji III)

SURABAYA
2022

APPROVAL SHEET

**SIMULATION MODELING AND ANALYSIS OF BORING BAR VIBRATION
RESPONSE DUE TO THE EFFECT OF DVA WITH VARIATIONS OF NUMBER OF
BALL MASS, VARIATIONS OF RUBBER TYPE AND VARIATION OF RUBBER
DIAMETER IN THE BORING PROCESS**

FINAL PROJECT

*Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a mechanical engineering degree at
Undergraduate Study Program of Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember*

By:

MUHAMMAD LUTHFI ATAKA RIZOI

NRP. 02111740000166

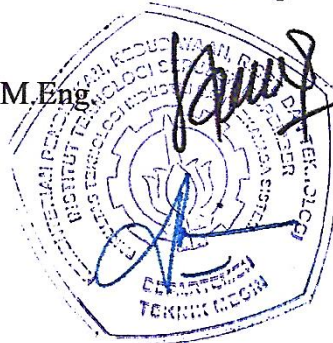
Approved by Final Project Examiner Team:

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



Advisor

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



Examiner 1

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

Examiner 2

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



Examiner 3

**SURABAYA
2022**

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Muhammad Luthfi Attaka Rizqi / 02111740000166
Program studi : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing / NIP : Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T. / 197004121997032003

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Simulasi Pemodelan Dan Analisa Respon Getaran *Boring Bar* Akibat Pengaruh DVA Dengan Variasi Jumlah Massa Bola, Variasi Jenis Karet Dan Variasi Diameter Karet Pada Proses *Boring*” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

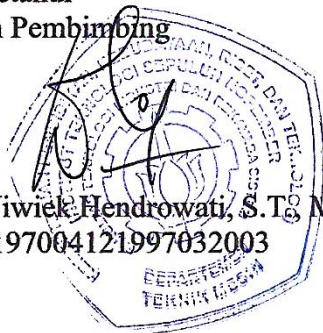
Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 23 Juli 2022

Mahasiswa

Mengetahui
Dosen Pembimbing

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



Muhammad Luthfi Attaka Rizqi
NRP. 02111740000166

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

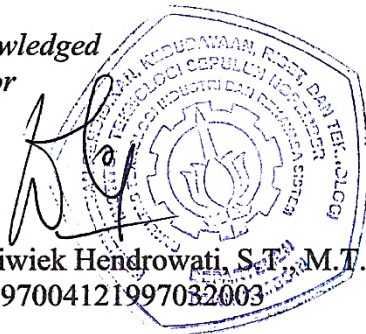
Name of student / NRP : Muhammad Luthfi Attaka Rizqi / 02111740000166
Department : Teknik Mesin
Advisor / NIP : Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T. / 197004121997032003

Hereby declare that the Final project with the title of “Simulation Modeling And Analysis Of Boring Bar Vibration Response Due To The Effect Of Dva With Variations Of Number Of Ball Mass, Variations Of Rubber Type And Variation Of Rubber Diameter In The Boring Process” is the result of my own work, is original, and written by following the rules of scientific writing.

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


*Acknowledged
Advisor*


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



Surabaya, 23 July 2022

Student


Muhammad Luthfi Attaka Rizqi
NRP. 02111740000166

SIMULASI PEMODELAN DAN ANALISA RESPON GETARAN *BORING BAR* AKIBAT PENGARUH DVA DENGAN VARIASI JUMLAH MASSA BOLA, VARIASI JENIS KARET DAN VARIASI DIAMETER KARET PADA PROSES *BORING*

Nama Mahasiswa : Muhammad Luthfi Attaka Rizqi
NRP : 02111740000166
Departemen : Teknik Mesin FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.

ABSTRAK

Dalam proses permesinan di dunia industry, mesin bubut merupakan salah satu mesin yang digunakan untuk pengerjaan logam. Mesin bubut mempunyai berbagai proses dengan salah satu jenisnya ialah proses *boring*. Proses *boring* sendiri memiliki gangguan berupa getaran berlebih yang mempengaruhi kerusakan komponen dan mempengaruhi hasil benda kerja. Maka diberikan mekanisme DVA (*Dynamic Vibration Absorber*) untuk mengurangi gangguan getaran berlebih.

Penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan simulasi menggunakan *software ANSYS* dengan meneliti Analisa respon getaran pada model *boring bar* yang telah diberi *Dynamic Vibration Absorber* (DVA) dengan variasi jumlah massa bola, variasi jenis karet dan variasi diameter karet pada kondisi pemotongan tipikal *finishing*. DVA diletakkan pada bagian depan *boring bar* dengan memberikan *cavity* sebagai tempat peletakan DVA. Massa *absorber* didesain berbentuk bola berbahan *stainless ball* dan kekakuan *absorber* dari karet dengan variasi jenis *natural rubber* dan *neoprene rubber*. Komponen sistem utama pada penelitian ini ialah *boring bar* yang telah diberikan DVA atau yang disebut sebagai *customized boring bar* dengan total 18 model. Dengan desain *boring bar* memiliki overhang $L/D = 8$. Dengan *cutting parameter* memiliki variasi putaran spindle 320 rpm, 450 rpm dan 720 rpm, *depth of cut* (d) = 0,25 mm dan *feed rate* (f) = 0,1 mm/rev dengan penelitian frekuensi akan dilakukan pada 320 Hz, 450 Hz, dan 720 Hz. Benda kerja yang digunakan merupakan AISI 4340 dengan diameter dalam 10 mm, sedangkan material *boring bar* yakni AISI 1045. Output dari penelitian ini adalah *frequency response* dan model *boring bar* yang memiliki peredaman yang optimal.

Dari simulasi yang telah dilakukan, desain *boring bar* dengan DVA mampu menampilkan peredaman optimal dibandingkan dengan *regular boring bar* pada frekuensi 450 Hz dan 720 Hz. Penambahan DVA pada variasi boring bar menyebabkan bergesernya frekuensi natural variasi tersebut ke sebelah kiri, namun memiliki efek mengurangi chatter terjadi pada frekuensi natural. Karet natural dan karet neoprene mampu meredam getaran pada putaran mesin yang lebih kecil (setelah frekuensi natural). Desain optimum pada proses permesinan boring tipe finishing yang terjadi pada semua parameter pemotongan adalah boring bar kustom dengan 1 DVA 12 mm dengan karet neoprene pada frekuensi 720 Hz. Desain ini mampu meredam getaran terhadap sumbu X sebesar 81%, pada sumbu Y sebesar 6% dan pada sumbu Z sebesar 29%.

Kata Kunci: *Boring Bar, Dynamic Vibration Absorber (DVA), Karet, Respon Getaran, Bola*

**MODELLING SIMULATION AND ANALYSIS OF BORING BAR VIBRATION
RESPONSE DUE TO THE EFFECT OF DVA WITH VARIATIONS OF NUMBER
OF BALL MASS, VARIATIONS OF RUBBER TYPE AND VARIATION OF
RUBBER DIAMETER IN THE BORING PROCESS**

Student Name : Muhammad Luthfi Attaka Rizqi
NRP : 02111740000166
Departments : Teknik Mesin FTIRS-ITS
Advisory Lecturer : Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.

ABSTRACT

In the machining process in the industrial world, a lathe is one of the machines used for metalworking. Lathes have various processes, one of which is the boring process. The boring process itself has disturbances in the form of excessive vibrations that affect component damage and affect workpiece results. Then a DVA (Dynamic Vibration Absorber) mechanism is given to reduce excessive vibration disturbances.

This final project research was carried out by simulation using ANSYS software by examining vibration response analysis on a boring bar model that had been given a Dynamic Vibration Absorber (DVA) with variations in the number of ball masses, variations in rubber types and variations in rubber diameter under typical cutting conditions of finishing. The DVA is placed on the front of the boring bar by providing a cavity as a place to place the DVA. The absorber mass is designed in the form of a ball made of stainless ball and the stiffness of the absorber is made of rubber with various types of natural rubber and neoprene rubber. The main system component in this study is a boring bar that has been given a DVA or what is called a customized boring bar with a total of 18 models. With a boring bar design, it has an overhang of $L/D = 8$. With cutting parameters it has variations in spindle rotation of 320 rpm, 450 rpm and 720 rpm, depth of cut (d) = 0.25 mm and feed rate (f) = 0.1 mm /rev. The workpiece used is AISI 4340 with an inner diameter of 10 mm, while the boring bar material is AISI 1045. The output of this research is a frequency response and a boring bar model that has optimal damping.

From the simulations that have been carried out, the boring bar design with DVA is able to display optimal damping compared to regular boring bars at frequencies of 450 Hz and 720 Hz. The addition of DVA to the boring bar variation causes the natural frequency to shift to the left, but has the effect of reducing chatter occurring at the natural frequency. Natural rubber and neoprene rubber are able to dampen vibrations at lower engine speeds (after the natural frequency). The optimum design in the finishing type boring machining process that occurs in all cutting parameters is a custom boring bar with 1 DVA 12 mm with neoprene rubber at a frequency of 720 Hz. This design is able to dampen vibrations on the X-axis by 81%, on the Y-axis by 6% and on the Z-axis by 29%.

Keyword: *Boring Bar, Dynamic Vibration Absorber (DVA), Rubber, Frequency Response, Ball*

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang senantiasa melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, hingga terselesaikannya Tugas Akhir beserta Laporan Tugas Akhir yang berjudul Simulasi Pemodelan Dan Analisa Respon Getaran *Boring Bar* Akibat Pengaruh Dva Dengan Variasi Jumlah Massa Bola, Variasi Jenis Karet, Dan Variasi Diameter Karet Pada Proses *Boring*.

Penulis telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Orang tua penulis, Bapak **Patris Joko Suwarno** dan Ibu **Juli Aryadani**, serta adik penulis **Nadiatul Qalbi Amalia Rizqi** yang telah memberikan dukungan yang tak tergantikan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Ibu **Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.** selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan ilmu, petunjuk, nasihat, serta motivasi.
3. Bapak **Prof. Dr. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng.**, Ibu **Aida Annisa Amin Daman, S.T., M.T.**, dan Bapak **Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D.** selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik dalam Tugas Akhir ini.
4. **Bapak Prof. Dr.Ing. Ir. Suhardjono, M.Sc.** selaku dosen wali yang telah membantu dan membimbing selama masa perkuliahan.
5. Seluruh teman satu bimbingan Tugas Akhir (**Faishal Daffa Prayudha, Donatus Probo Adhi Sanjaya, Najya Rafa Meidina, Ikralhaq Hilliriany Adriadi, Dika Andini Suryandaris, Hanifati Dwi Kusuma Diah Tantri dan Aufa Ulin Nuha**) atas segala kebaikan, motivasi, dukungan, bercandaan, ilmu dan susah senang bersama yang telah diberikan selama menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Untuk teman dekat saya **Abrar H, Muhammad Uwes, Faishal DP, Maulia Farah NA, Indah PH, Ikbar R, Arvian R, Gamas ON, Gianardo SP, dan Anna MU** yang telah memberi ilmu, mendukung dan menemani perjalanan selama ini dan mengajarkan banyak hal dalam perjalanan ini.
7. Kepada klub kebanggaan **Persebaya Surabaya** yang telah mengajarkan untuk tidak pernah menyerah dan tidak pernah putus asa hingga menit terakhir.
8. Seluruh teman-teman satu angkatan **M60** yang menemani penulis selama menempuh pendidikan di Teknik Mesin.
9. Kepada **Departemen Teknik Mesin** yang telah memberikan saya banyak pembelajaran selama waktu saya menempa dan menimba ilmu di sini.
10. Seluruh dosen, karyawan dan civitas akademik Teknik Mesin FTIRS-ITS, atas segala bantuan dan kerjasamanya.
11. **Diri Saya sendiri** karena telah menyelesaikan kewajiban sebagai seorang Mahasiswa dan juga menyelesaikan apa yang telah dimulai pada tahun 2017.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidaklah sempurna, namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Mesin khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya.

Surabaya, 23 Juli 2022

Penulis

Daftar Isi

HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
PERNYATAAN ORISINALITAS	viii
ABSTRAK.....	x
KATA PENGANTAR.....	xii
Daftar Isi.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH.....	1
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	2
1.4 BATASAN MASALAH.....	2
1.5 MANFAAT PENELITIAN	2
BAB II DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 GETARAN.....	3
2.2 MULTI DEGREE OF FREEDOM	3
2.3 DYNAMIC VIBRATION ABSORBER.....	4
2.4 UNDAMPED DYNAMIC VIBRATION ABSORBER	4
2.5 DAMPED DYNAMIC VIBRATION ABSORBER	6
2.6 MESIN BUBUT.....	8
2.7 GAYA PADA PROSES BUBUT.....	9
2.8 VIBRASI DAN CHATTER PADA PROSES BUBUT	12
2.9 TINJAUAN PUSTAKA	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1 FLOWCHART PENELITIAN.....	30
3.2 PENJELASAN TAHAP PENELITIAN.....	31
3.2.1 Studi Literatur.....	31
3.2.2 Identifikasi Masalah.....	31
3.2.3 Perancangan Mekanisme Sistem Utama (Boring Bar) Dan Dva	32
3.2.3.1 Perancangan Mekanisme Sistem Utama (<i>Boring Bar</i>)	32
3.2.3.2 Perancangan Mekanisme Dva.....	32
3.2.4 Pemodelan Sistem Dinamis	35
3.2.4.1 Sistem Utama Tanpa Dva	35
3.2.4.2 Pemodelan Sistem Dinamis Pada Sistem Utama Dengan Penambahan <i>Dynamic Vibration Absorber</i> (Dva).....	37
3.2.4.3 Pemodelan Sistem Dinamis Pada Sistem Utama Dengan Penambahan Dua <i>Dynamic Vibration Absorber</i> (Dva).....	38
3.2.4.4 Pemodelan Sistem Dinamis Pada Sistem Utama Dengan Penambahan Tiga <i>Dynamic Vibration Absorber</i> (Dva).....	39
3.2.5 Penurunan Persamaan Gerak	40
3.2.5.1 Sistem Utama Tanpa Penambahan <i>Dynamic Vibration Absorber</i> (Dva).....	40
3.2.5.2 Sistem Utama Dengan Penambahan Satu Dva	41
3.2.5.3 Sistem Utama Dengan Penambahan Dua Dva.....	41
3.2.5.4 Sistem Utama Dengan Penambahan Tiga Dva	42
3.2.6 Perancangan Desain.....	43

3.2.6.1	Sistem Utama.....	43
3.2.6.2	Dva	46
3.2.7	Perencanaan Parameter.....	48
3.2.7.1	Cutting Parameter	48
3.2.7.2	Gaya Eksitasi	49
3.2.7.3	Boring Bar	50
3.2.7.4	Dva	54
3.2.8	Simulasi	60
3.2.8.1	Engineering Data	60
3.2.8.2	Geometry	60
3.2.8.3	Connection.....	60
3.2.8.4	Mesh	61
3.2.8.5	Force Dan Fixed Support.....	62
3.2.8.6	Modal Dan Harmonic Response	63
3.2.9	Respon Getaran.....	64
3.2.10	Analisa Data Dan Pembahasan	64
3.2.11	Kesimpulan.....	64
BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN.....		65
4.1	<i>Flowchart Analisis Data</i>	65
4.2	Analisa Respon Getaran	66
4.2.1	Respon Getaran Boring Bar Tanpa Dva	66
4.2.1.1	Respon Getaran <i>Regular Boring Bar</i> Dan <i>Customized Boring Bar</i> Pada Sumbu X (Axial).....	67
4.2.2	Respon Getaran Boring Bar Dengan Dva.....	68
4.2.2.1	Analisa Getaran <i>Regular Boring Bar</i> Terhadap <i>Customized Boring Bar</i> Dengan Dva <i>Natural Rubber 12 Mm</i>	68
4.2.2.2	Analisa Getaran <i>Regular Boring Bar</i> Terhadap <i>Customized Boring Bar</i> Dengan Dva <i>Natural Rubber 14 Mm</i>	71
4.2.2.3	Analisa Getaran <i>Regular Boring Bar</i> Terhadap <i>Customized Boring Bar</i> Dengan Dva <i>Natural Rubber 16 Mm</i>	73
4.2.2.4	Analisa Getaran <i>Regular Boring Bar</i> Terhadap <i>Customized Boring Bar</i> Dengan Dva <i>Neoprene Rubber 12 Mm</i>	76
4.2.2.5	Analisa Getaran <i>Regular Boring Bar</i> Terhadap <i>Customized Boring Bar</i> Dengan Dva <i>Neoprene Rubber 14 Mm</i>	78
4.2.2.6	Analisa Getaran <i>Regular Boring Bar</i> Terhadap <i>Customized Boring Bar</i> Dengan Dva <i>Neoprene Rubber 16 Mm</i>	81
4.3	<i>Analisa Reduksi Getaran</i>	83
4.3.1	Analisa Reduksi Getaran Frekuensi 320 Hz	83
4.3.2	Analisa Reduksi Getaran Frekuensi 450 Hz	85
4.3.3	Analisa Reduksi Getaran Frekuensi 720 Hz	86
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		88
5.1	Kesimpulan.....	88
5.2	Saran	88
DAFTAR PUSTAKA.....		1
LAMPIRAN		2

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 3 Degree Of Freedom Scheme (M dof) (Rao, 2011)	3
Gambar 2.2 Dynamic Modeling Main System With Added Dva Without Damper (Rao, 2011)	4
Gambar 2.3 The Effect Of The Undamped Vibration Absorber On The Response Of The Main System (Rao, 2011)	6
Gambar 2.4 Main System Dynamic Modeling With The Addition Of Damped Dynamic Vibration Absorber (Rao, 2011)	7
Gambar 2.5 Effect Of Damped Vibration Absorber On Main System Response (Rao, 2011)	8
Gambar 2.6 Lathe Machine	9
Gambar 2.7 Machining Process Schematic (Kalpakjian & Schmid, 2009)	10
Gambar 2.8 Force On Machining Process (Kalpakjian & Schmid, 2009)	10
Gambar 2.9 Boring Tool And Dva Stainless Steel Sphere System	13
Gambar 2.10 Comparison Of Lawrence's Research Results	13
Gambar 2.11 Main System Bode Diagram Without Dva On The -Axis X (Radial) , Y (Tangential), And Z (Axial) (Pratikno, 2020)	14
Gambar 2.12 Axis Graph Comparison X (Radial) , Y (Tangential), Dan Z (Axial) After Being Given Dva With Rubber Variations 20 Mm, 30 Mm Dan 40 Mm (Pratikno, 2020)	14
Gambar 2.13 Comparison Of Spindle Rotation Vibration Reduction 250 Rpm, 370 Rpm, 630 Rpm, And 920 Rpm (Pratikno, 2020)	15
Gambar 2.14 Experiment Design	16
Gambar 2.15 Absorber Linear Design	16
Gambar 2.16 Experiment Diagram Schematic	17
Gambar 2.17 Three Size Of Balls	17
Gambar 2.18 Comparison Graph Of Vibration Response Before And After Damping	19
Gambar 2.19 Comparison Graph Of Damping Results By Ball Size	19
Gambar 2.20 Comparison Graph Of Damping Results Based On Absorber Mass	20
Gambar 2.21 Comparison Graph Of The Results Of Vibration Frequency Damping Based On The Distribution Of The Mass Of The Balls M1 (Top) And M2 (Bottom)	21
Gambar 2.22 Comparison Graph Of The Results Of Vibration Frequency Attenuation Based On The Mass Division Of The M3 (Top) And M4 (Bottom) Balls	21
Gambar 2.23 Ptid Scheme And Main System	22
Gambar 2.24 Overall Test Tool	23
Gambar 2.25 Variations Of Grain Type. (A) Plastic, (B) Steel, And (C) Mixed (Plastic Dan Steel)	23
Gambar 2.26 Displacements Wave (A,C,E) Dan Nilai Rsm (B,D,F) Untuk Property Variasi. (A) Beam Displacements Mp = 0.1ms, (B) Nilai Rms Dari Beam Displacements Mp = 0.1ms, (C) Beam Displacements Mp = 0.2ms, (D) Nilai Rms Dari Beam Displacements Mp = 0.2ms, (E) Beam Displacements Mp = 0.05ms, (F) Nilai Rms Dari Beam Displacements Mp = 0.05ms	24
Gambar 2.27 Displacements Wave For Balls Variations. (A) Beam Displacements Steel Ball; (B) Beam Displacements Plastic Balls; (C) Beam Displacements Mixed Balls	25
Gambar 2.28 Rms Value Of Displacements For Grain Variation	26
Gambar 2.29 Customized Boring Bar Design	26
Gambar 2.30 (A) Dva Mass, Dan (B) Natural Rubber	27
Gambar 2.31 Customized Boring Bar	27
Gambar 2.32 Dva Variations (A) 20 Mm Natural Rubber, (B) 30 Mm Natural Rubber, (C) 40 Mm Natural Rubber	28
Gambar 2.33 Tool Scheme	28
Gambar 2.34 The Results Of The Comparison Of The X-Axis Boring Bar Vibration Response With Dva And Without Dva At Spindle Rotation Rpm 720 (A) Doc 0.2 Mm, (B) Doc 0.3 Mm (C) Doc 0.4 Mm	29
Gambar 3.1 Research Flowchart	31
Gambar 3.2 Regular Body Boring Bar	32
Gambar 3.3 Boring Bar Laying Position	37
Gambar 3.4 Dva Construction System	33
Gambar 3.5 Dva With 12 Mm Rubber Variations	33
Gambar 3.6 Dva With 14 Mm Rubber Variations	34
Gambar 3.7 Dva With 16 Mm Rubber Variations	34

Gambar 3.8 Main System Structure Boring Bar With The Addition Of Three Different Amounts Of Dva, (A) One Dva, (B) Two Dva, (C) Three Dva	35
Gambar 3.9 Dynamic Modeling Of The Main System Without Dva (A) Side View, And (B) Top View	36
Gambar 3.10 Main System Dynamic Modeling With The Addition Of One Dva (A) Side View, And (B) Top View	37
Gambar 3.11 Main System Dynamic Modeling With The Addition Of Two Dva (A) Side View, And (B) Top View	38
Gambar 3.12 Main System Dynamic Modeling With The Addition Of Three Dva (A) Side View, And (B) Top View	39
Gambar 3.13 Free Body Diagram Of Main System Without Dva From (A) Side View And (B) Top View	40
Gambar 3.14 Free Body Diagram Of The Main System With The Addition Of Dva, (A) Main Mass And (B) Mass Of The First Dva.....	41
Gambar 3.15 Free Body Diagram Of The Main System With The Addition Of Dva, (A) Main Mass And (B) Mass Of The First Dva And (C) Mass Of The Second Dva	42
Gambar 3.16 Free Body Diagram Of The Main System With The Addition Of Dva, (A) Main Mass And (B) Mass Of The First Dva, (C) Mass Of The Second Dva And (D) Mass Of The Third Dva	42
Gambar 3.17 Regular Body Boring Bar	43
Gambar 3.18 Customized Cavity Pada Boring Bar For (A) One Dva, (B) Two Dva, And (C) Three Dva	44
Gambar 3.19 Total Deformation Simulation Of Regular Boring Bar	44
Gambar 3.20 Total Deformation Simulation Of Customized Boring Bar With 1 Dva Natural Rubber	45
Gambar 3.21 Insert	45
Gambar 3.22 Head And Insert	46
Gambar 3.23 Pin	46
Gambar 3.24 Mass Spherical	47
Gambar 3. 25 Rubber	47
Gambar 3.26 Housing	48
Gambar 3.27 Simulation Of Y-Axis Static Deflection (A) Regular Boring Bar And (B) Customized Boring Bar (1 Dva 12 Mm Natural Rubber).....	50
Gambar 3.28 Simulation Of Natural Frequency Modal Analysis (A) Regular Boring Bar And (B) Customized Boring Bar	51
Gambar 3.29 Mass Of Dva (A) Natural Rubber And (B) Neoprene Rubber	54
Gambar 3. 30 Static Deformation (A) Natural Rubber 1 Dva 12 Mm And (B) Neoprene Rubber 1 Dva 12 Mm	55
Gambar 3.31 Frequency Natural (A) Natural Rubber 1 Dva 12 Mm And (B) Neoprene Rubber 1 Dva 12 Mm	56
Gambar 3.32 Bonded And No Separation Connection In Ansys	61
Gambar 3.33 (A) Mesh, (B) Mesh Quality, (C) Orthogonal Quality Parameter	62
Gambar 3.34 (A) Force, (B) Fixed Support.....	63
Gambar 3.35 Modal And Harmonic Response	63
Gambar 3.36 Frequency Response Is Placed On The Tip Of The Tool.....	64
Gambar 4. 1 Data Analysis Flowchart	66
Gambar 4. 2 Comparison Of Regular And Customized Boring Bar Harmonic Response At X-Axis	67
Gambar 4. 3 Comparison Of Regular And Customized Boring Bar Harmonic Response At Y-Axis.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
Gambar 4. 4 Comparison Of Regular And Customized Boring Bar Harmonic Response At Z-Axis.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
Gambar 4. 5 Vibration Response Of Regular Boring Bar And Customized Boring Bar With Dva Natural Rubber At (A) X-Axis, (B) Y-Axis, And (C) Z-Axis.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
Gambar 4. 6 Vibration Response Of Regular Boring Bar And Customized Boring Bar With Dva Neoprene At (A) X-Axis, (B) Y-Axis, And (C) Z-Axis	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
Gambar 4. 7 Vibration Response Of Regular Boring Bar And Customized Boring Bar With Dva Natural Rubber 12 Mm At 320 Hz, 450 Hz, And 720 Hz At (A) X-Axis, (B) Y-Axis, And (C) Z-Axis	69
Gambar 4. 8 Picture Of (A) Deformation Of Regular Boring Bar And (B) Deformation Of Boring Bar With 12 Mm Natural Rubber	70
Gambar 4. 9 Vibration Response Of Regular Boring Bar And Customized Boring Bar With Dva Natural Rubber 14 Mm At 320 Hz, 450 Hz, And 720 Hz At (A) X-Axis, (B) Y-Axis, And (C) Z-Axis	72
Gambar 4. 10 Picture Of (A) Deformation Of Regular Boring Bar And (B) Deformation Of Boring Bar With 14 Mm Natural Rubber	73

Gambar 4. 11 <i>Vibration Response Of Regular Boring Bar And Customized Boring Bar With Dva Natural Rubber 16 Mm At 320 Hz, 450 Hz, And 720 Hz At (A) X-Axis, (B) Y-Axis, And (C) Z-Axis</i>	74
Gambar 4. 12 <i>Picture Of (A) Deformation Of Regular Boring Bar And (B) Deformation Of Boring Bar With 16 Mm Natural Rubber</i>	75
Gambar 4. 13 <i>Vibration Response Of Regular Boring Bar And Customized Boring Bar With Dva Neoprene Rubber 12 Mm At 320 Hz, 450 Hz, And 720 Hz At (A) X-Axis, (B) Y-Axis, And (C) Z-Axis</i>	77
Gambar 4. 14 <i>Picture Of (A) Deformation Of Regular Boring Bar And (B) Deformation Of Boring Bar With 12 Mm Neoprene Rubber</i>	78
Gambar 4. 15 <i>Vibration Response Of Regular Boring Bar And Customized Boring Bar With Dva Neoprene Rubber 14 Mm At 320 Hz, 450 Hz, And 720 Hz At (A) X-Axis, (B) Y-Axis, And (C) Z-Axis</i>	79
Gambar 4. 16 <i>Picture Of (A) Deformation Of Regular Boring Bar And (B) Deformation Of Boring Bar With 14 Mm Neoprene Rubber</i>	80
Gambar 4. 17 <i>Vibration Response Of Regular Boring Bar And Customized Boring Bar With Dva Neoprene Rubber 16 Mm At 320 Hz, 450 Hz, And 720 Hz At (A) X-Axis, (B) Y-Axis, And (C) Z-Axis</i>	82
Gambar 4. 18 <i>Picture Of (A) Deformation Of Regular Boring Bar And (B) Deformation Of Boring Bar With 16 Mm Neoprene Rubber</i>	83
Gambar 4. 19 <i>Reduction Percentage Of Boring Bar Variation At 320 Hz With Dva (A) Natural Rubber And (B) Neoprene Rubber</i>	84
Gambar 4. 20 <i>Reduction Percentage Of Boring Bar Variation At 450 Hz With Dva (A) Natural Rubber And (B) Neoprene Rubber</i>	86
Gambar 4. 21 <i>Reduction Percentage Of Boring Bar Variation At 720 Hz With Dva (A) Natural Rubber And (B) Neoprene Rubber</i>	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Specific Energy On Each Workpiece Material</i>	11
Tabel 2.2 <i>General Recommendations For Turning Process</i>	12
Tabel 2.3 <i>Experiment Configuration (36 Configurations)</i>	18
Tabel 2.4 <i>Parameters Used During Experiment</i>	23
Tabel 3.1 <i>Cutting Parameter</i>	49
Tabel 3.2 <i>Cutting Force</i>	50
Tabel 3. 3 <i>Stiffness (K) And Mass (M) Of Regular And Customized Boring Bar</i>	52
Tabel 3. 4 <i>Bar Boring Research Parameters</i>	53
Tabel 3. 5 <i>Stiffness (K) And Mass (M) For Each Ball And Rubber (Natural Rubber And Neoprene)</i>	57
Tabel 3. 6 <i>Stiffness (K) And Mass (M) For Ball And Rubber Combined (Constructed)</i>	58
Tabel 3. 7 <i>Research Parameter Of Dva After Inserted To Housing (Equivalent)</i>	59
Tabel 3.8 <i>Material Properties</i>	60
tabel 4. 1 <i>Vibration Response Of Regular And Customized With Dva Natural Rubber 12 Mm</i>	68
Tabel 4. 2 <i>Vibration Response Of Regular And Customized With Dva Natural Rubber 14 Mm</i>	71
Tabel 4. 3 <i>Vibration Response Of Regular And Customized With Dva Natural Rubber 16 Mm</i>	73
Tabel 4. 4 <i>Vibration Response Of Regular And Customized With Dva Neoprene Rubber 12 Mm</i>	76
Tabel 4. 5 <i>Vibration Response Of Regular And Customized With Dva Neoprene Rubber 14 Mm</i>	78
Tabel 4. 6 <i>Vibration Response Of Regular And Customized With Dva Neoprene Rubber 16 Mm</i>	81
Tabel 4. 7 <i>Vibration Reduction Frequency 320 Hz</i>	83
Tabel 4. 8 <i>Vibration Reduction Frequency 450 Hz</i>	85
Tabel 4. 9 <i>Vibration Reduction Frequency 720 Hz</i>	86

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses permesinan merupakan proses pembentukan material yang dilakukan dengan memotong bagian benda kerja hingga membentuk hasil produk yang diinginkan. Proses permesinan mempunyai lebih dari satu jenis, salah satunya merupakan proses *boring*. Proses *boring* merupakan proses memperbesar lubang pada benda kerja. Pada proses *boring*, gerakan alat potong saat memperbesar lubang dapat mengakibatkan getaran pada komponen mekanis dan mesin. Getaran dapat berdampak negatif dengan mengakibatkan berkurangnya umur hingga kerusakan komponen mekanis atau mesin, dan pada kualitas hasil akhir proses *Boring Bar* dinilai kurang baik karena berkurangnya akurasi pemotongan. Getaran disebabkan karena *Boring Bar* memiliki rasio panjang atau diameter yang besar, sehingga mempengaruhi nilai kekakuan yang dinilai kurang tepat saat proses *boring* berlangsung. Oleh karena itu, untuk mengoptimalkan hasil akhir proses *boring*, dan memaksimalkan kinerja mesin maka digunakan *Dynamic Vibration Absorber* yang dibuat untuk fungsi pemakaian *Boring Bar*. DVA diletakkan di dalam *Boring Bar* agar saat proses *boring* berlangsung, DVA akan meredam getaran yang terjadi pada sistem tersebut.

Penelitian dan pengembangan saat proses *boring* menggunakan *Dynamic Vibration Absorber* telah dilakukan dengan berbagai macam parameter seperti dan variasi yang ditentukan. Menurut penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Lawrance G mengenai perbandingan hasil proses *boring* sebelum dan sesudah menggunakan DVA dengan menentukan parameter seperti *cutting speed*, *feed rate*, dan *depth of cut* dan properti komponen seperti *tool wear*, *tool vibration*, *cutting force*, dan *surface roughness*. Dalam penelitian ini diputuskan untuk meredam getaran pada proses *boring* dengan menambahkan bola *stainless steel* sebagai DVA, dalam penelitian ini didapatkan hasil dapat meredam getaran pada komponen sebesar 62% dan mengurangi kekasaran permukaan pada hasil proses *boring* sebesar 78%.

Dalam penelitian simulasi ini diteliti permodelan *Boring Bar* dengan DVA berbentuk bola *stainless steel* yang dilapisi oleh *rubber* untuk meredam getaran saat proses *boring* dengan menggunakan *software Ansys Workbench* dengan variasi pada jumlah bola *stainless steel* dan diameter *natural rubber* dan *neoprene rubber* sebagai DVA. Dengan variasi yang telah ditentukan, diharapkan simulasi bisa memberikan hasil metode reduksi vibrasi yang dapat meminimalisir getaran saat proses berlangsung untuk mengetahui kombinasi variasi yang memiliki peredaman paling optimal saat proses *boring*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, terdapat beberapa permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini, antara lain :

1. Bagaimana rancangan *boring bar* dengan DVA bola *stainless steel* yang dilapisi *natural rubber* dan *neoprene rubber* yang mempresentasikan getaran pada saat proses *boring*?

2. Bagaimana nilai reduksi dan respon getaran sistem utama dengan dan tanpa DVA?
3. Bagaimana pengaruh variasi jumlah dva dan variasi diameter *dva* untuk reduksi respon getaran pada *boring bar* saat proses *boring*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari tugas akhir ini ialah sebagai berikut :

1. Mengetahui rancangan *boring bar* dengan DVA bola *stainless steel* yang dilapisi *natural rubber* dan *neoprene rubber* yang mempresentasikan getaran pada saat proses *boring*.
2. Mengetahui nilai reduksi dan respon getaran sistem utama dengan dan tanpa DVA.
3. Mengetahui pengaruh variasi jumlah dva dan variasi diameter *dva* untuk reduksi respon getaran pada *boring bar* saat proses *boring*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Parameter yang digunakan berdasarkan jurnal
2. Getaran dari mekanisme luar diabaikan, dalam hal ini hanya getaran dari *boring bar* yang diteliti
3. Getaran terletak pada ujung *head boring bar*
4. Material benda kerja yang digunakan adalah AISI 1045.
5. Tidak ada slip yang terjadi diantara clamp dan boring bar
6. Nilai konstanta redaman untuk jenis material metal dan jenis material karet dianggap sama.
7. DVA dianggap menjadi satu kesatuan massa.
8. Nilai konstanta kekakuan karet dianggap linear.
9. Benda kerja dianggap tidak bergetar.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari tugas akhir ini adalah :

1. Dapat digunakan sebagai bahan penelitian dan pengembangan lebih lanjut pada bidang industri dalam mempelajari reduksi getaran berlebih
2. Memberikan gambaran desain baru tentang DVA pada dunia industry

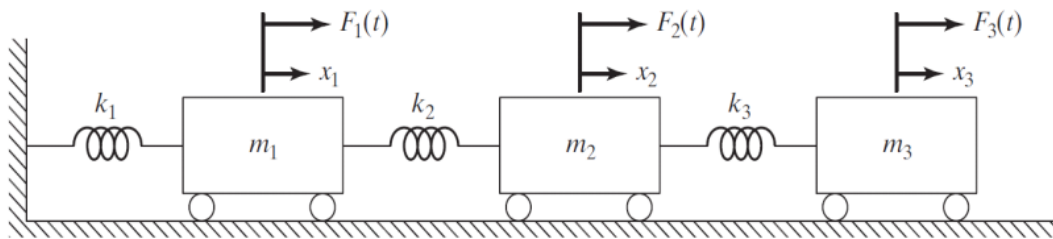
BAB II DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Getaran

Getaran merupakan sebuah gerakan bolak-balik suatu benda dari posisi awal melalui titik keseimbangan dengan periode, amplitude, dan frekuensi tertentu. Getaran terjadi ketika terdapat massa, pegas, dan peredam dalam suatu sistem. Getaran terbagi menjadi dua jenis, yakni getaran bebas dan getaran paksa. Getaran bebas yaitu getaran yang terjadi karena rangsangan gaya dari dalam sistem, sedangkan getaran paksa adalah getaran yang disebabkan oleh gaya dari luar sistem tersebut. Dengan setiap sistem getaran mengalami getaran hingga derajat tertentu karena energi terdisipasi oleh gesekan. Setiap sistem getaran memiliki frekuensi natural karena memiliki massa dan pegas. Frekuensi natural inilah yang mempengaruhi respon getaran dari suatu sistem. Jika redaman kecil, maka pengaruhnya pada frekuensi natural juga kecil.

2.2 Multi Degree of Freedom

Multi derajat kebebasan (*Multi Degree of Freedom*) digunakan untuk menentukan kedudukan massa dalam sistem yang memiliki lebih dari satu koordinat. MDOF merupakan turunan dari Hukum Newton kedua. Digunakannya matriks sebagai sistem MDOF dikarenakan MDOF memiliki penyelesaian scalar yang rumit.



Gambar 2.1 3 Degree of Freedom Scheme (MDOF) (Rao, 2011)

Gambar 2.1 menunjukkan skema dari *forced multi degree of freedom* yang menggambarkan sistem dengan massa dan pegas yang bergerak akibat gaya dari $F_1(t)$, $F_2(t)$, dan $F_3(t)$. Dari gambar diatas maka akan didapatkan matriks dari persamaan gerak dengan menggunakan Hukum newton kedua yang diberikan untuk setiap massa.

$$m_i \ddot{x}_i + k_{ixi} = \sum_j F_{ij} \quad (2.1)$$

Persamaan 2.1 di atas terdiri dari $j=1$, $j=2$, dan $j=3$ sehingga dapat ditulis dalam bentuk matriks

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

Dengan menyubstitusikan persamaan 2.2 ke persamaan 2.1, maka didapatkan

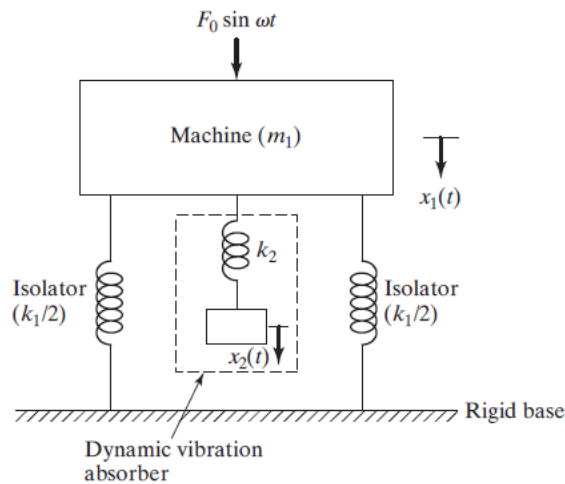
$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_1 + k_2 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix}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

2.3 Dynamic Vibration Absorber

Dynamic Vibration Absorber (DVA) merupakan sistem tambahan yang terdiri dari massa absorber (sekunder) dan pegas dengan kekakuan tertentu yang berfungsi untuk mereduksi getaran pada sistem utama. Desain komponen dan mekanisme DVA didrancang untuk menyerap getaran dari arah axial, radial, dan tangensial. DVA diperuntukkan untuk memaksimalkan kinerja sistem utama dan mengurangi penurunan efisiensi dari sistem utama.

2.4 Undamped Dynamic Vibration Absorber

Sistem terdiri dari massa utama (m_1) berupa mesin dan massa absorber (m_2) yang dihubungkan dengan pegas yang memiliki kekakuan k_2 . Karena adanya massa absorber yang ditambahkan pada massa utama, maka sistem di atas memiliki dua derajat kebebasan (*2 degree of freedom*). Dengan permodelan dari sistem utama yang dipasangi DVA ialah seperti gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 *Dynamic Modeling Main system with added DVA without Damper (Rao, 2011)*

Berdasarkan gambar 2.2 diatas didapatkan persamaan gerak dari massa m_1 dan m_2 adalah sebagai berikut :

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

$$m_2 \ddot{x}_2 + k_2 (x_2 - x_1) = 0 \quad (2.4)$$

Dengan mengasumsikan penyelesaian harmonik, maka didapat :

$$x_j(t) = X_j \sin \omega t, \quad j = 1, 2 \quad (2.5)$$

Sehingga diperoleh amplitude *steady state* dari m_1 dan m_2 adalah sebagai berikut :

$$(2.6)$$

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

$$X_2 = \frac{k_2 F_0}{(k_1 + k_2 - m_1 \omega^2)(k_2 - m_2 \omega^2) - k_2^2} \quad (2.7)$$

Reduksi amplitude dari massa utama (X_1) menjadi hal penting untuk meredam getaran. Numerator dari persamaan 2.6 harus bernilai nol untuk mendapatkan amplitude dari massa utama yang memiliki nilai nol. Sehingga persamaan menjadi seperti berikut :

$$\omega_2 = \frac{k_2}{m_2} \quad (2.8)$$

Ketika massa utama tanpa DVA (SDOF) beroperasi di daerah resonansi, maka frekuensi natural menjadi $\omega_1 \approx \omega_2 = \frac{k_1}{m_1}$. Oleh karena itu, DVA didesain sedemikian rupa hingga memiliki frekuensi natural yang sama dengan frekuensi natural massa utama, sehingga persamaan 2.8 menjadi :

$$\omega_2 = \frac{k_2}{m_2} = \frac{k_1}{m_1} \quad (2.9)$$

Ketika pengoperasian pada frekuensi resonansi, amplitude getaran mesin akan menjadi nol dengan mendefinisikan,

$$\delta_{st} = \frac{F_0}{k_1}, \quad \omega_1 = \left(\frac{k_2}{m_2}\right)^{1/2} \quad (2.10)$$

Sebagai frekuensi natural dari sistem utama, dan

$$\omega_1 = \left(\frac{k_2}{m_2}\right)^{1/2} \quad (2.11)$$

Sebagai frekuensi natural dari DVA, sehingga persamaan 2.6 dan 2.7 dapat ditulis sebagai berikut :

$$\frac{X_1}{\delta_{st}} = \frac{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_2}\right)^2}{\left[1 + \frac{k_2}{k_1} - \left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)^2\right] \left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_2}\right)^2\right] - \frac{k_2}{k_1}} \quad (2.12)$$

$$\frac{X_2}{\delta_{st}} = \frac{1}{\left[1 + \frac{k_2}{k_1} - \left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)^2\right] \left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_2}\right)^2\right] - \frac{k_2}{k_1}} \quad (2.13)$$

Variasi dari amplitude massa utama (X_1/δ_{st}) dengan kecepatan sudut massa utama (ω/ω_1) ditunjukkan pada gambar 2.3. Ketika $X_1 = 0$ pada $\omega = \omega_1$, nilai menjadi :

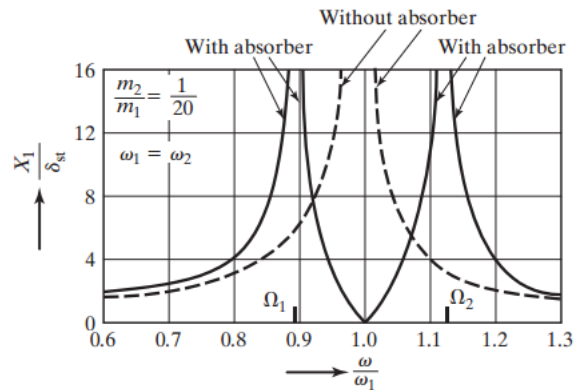
$$\omega_2 = -\frac{k_1}{k_2} \delta_{st} = -\frac{F_0}{k_2} \quad (2.14)$$

Hal ini menunjukkan bahwa gaya pegas berlawanan dengan gaya eksitasi dan berusaha untuk meniadakan atau mereduksi gaya eksitasi di X_1 , sehingga X_1 berkurang dan mendekati nilai nol. Dimensi dari DVA didapatkan melalui persamaan 2.14 dan 2.9,

$$(2.15)$$

$$k_2 X_2 = m_2 \omega^2 X_2 = -F_0$$

Sehingga nilai dari k_2 dan m_2 tergantung pada nilai X_2 yang diperbolehkan.



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

Pada Gambar 2.3, penambahan DVA menghasilkan adanya dua frekuensi natural dari sistem, sehingga terdapat Ω_1 dan Ω_2 pada respon dari sistem utama yang memiliki amplitude tidak terhingga. Dalam praktiknya, frekuensi operasional ω harus berada jauh dari Ω_1 dan Ω_2 dapat diperoleh dengan membuat denominator persamaan 2.12 menjadi nol, mengingat bahwa

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{k_2 m_2 m_1}{m_2 m_1 k_1} = \frac{m_2}{m_1} \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \quad (2.18)$$

Sehingga persamaan 2.12 menjadi,

$$\left(\frac{\omega}{\omega_2} \right)^4 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 - \left(\frac{\omega}{\omega_2} \right)^2 \left[1 + \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \right] + 1 = 0 \quad (2.17)$$

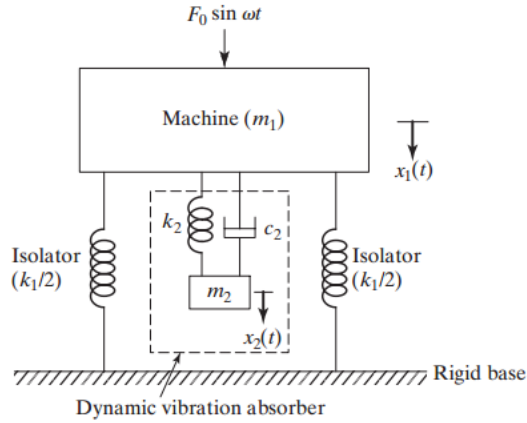
Akar dari persamaan 2.17 adalah sebagai berikut

$$\left. \begin{matrix} \left(\frac{\Omega_1}{\omega_2} \right)^2 \\ \left(\frac{\Omega_2}{\omega_2} \right)^2 \end{matrix} \right\} = \frac{\left\{ \left[1 + \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \right] \pm \left\{ \left[1 + \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \right]^2 - 4 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \right\}^{1/2} \right\}}{2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2} \quad (2.18)$$

Dimana persamaan 2.18 merupakan fungsi dari (m_2/m_1) dan (ω_2/ω_1) .

2.5 Damped Dynamic Vibration Absorber

Pada subbab sebelumnya telah dijelaskan *Undamped Dynamic Vibration Absorber* yang berfungsi untuk menghilangkan puncak resonansi pada grafik respon sistem utama, tetapi juga menghasilkan dua puncak baru sehingga mesin mengalami amplitude yang besar saat puncak pertama selama *start-up* dan *stopping*. Amplitude dari sistem utama dapat direduksi dengan menambahkan *Damped Dynamic Vibration Absorber* seperti pada gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2.4 Main System Dynamic Modeling with the addition of Damped Dynamic Vibration Absorber (Rao, 2011)

Berdasarkan gambar 2.4 diatas didapatkan persamaan gerak dari massa m_1 dan m_2 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 m_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 + k_2(x_1 - x_2) + c_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) &= F_0 \sin \omega t \\
 m_1 \ddot{x}_1 + k_2(x_1 - x_2) + c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) &= 0
 \end{aligned}
 \tag{2.19}$$

Dengan mengasumsikan penyelesaian harmonic, maka didapat

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

Sehingga diperoleh amplitude *steady state* dari massa m_1 dan m_2 adalah sebagai berikut :

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

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

Dimana :

- μ = m_2/m_1 = Mass Ratio = Absorber Mass / Main Mass
- δ_{st} = F_0/k_l = Static deflection of the system
- ω_a^2 = k_2/m_2 = Square of natural frequency of the absorber
- ω_n^2 = k_1/m_1 = Square of natural frequency of main mass
- f = ω_a/ω_n = Ratio of natural frequencies
- g = ω/ω_n = Forced frequency ratio
- cc = $2m\omega_n$ = Critical damping constant
- ζ = c_2/c_c = Damping Ratio

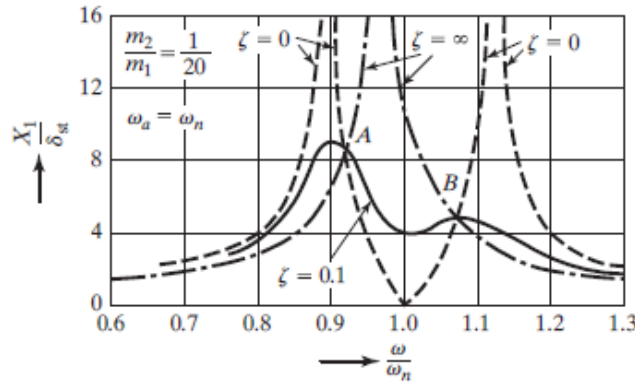
Sehingga nilai X_1 dan X_2 dapat dinyatakan dalam :

$$(2.22)$$

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

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

Persamaan (2.22) diatas menunjukkan bahwa nilai amplitudo vibrasi dari massa utama merupakan fungsi dari μ , f , g , dan ζ . Berdasarkan respon gerak pada persamaan diatas dapat dibentuk grafik hubungan antara rasio amplitudo respon terhadap defleksi statis sistem utama dengan rasio frekuensi operasional terhadap frekuensi natural sistem dengan nilai $\zeta = 0, 1$.



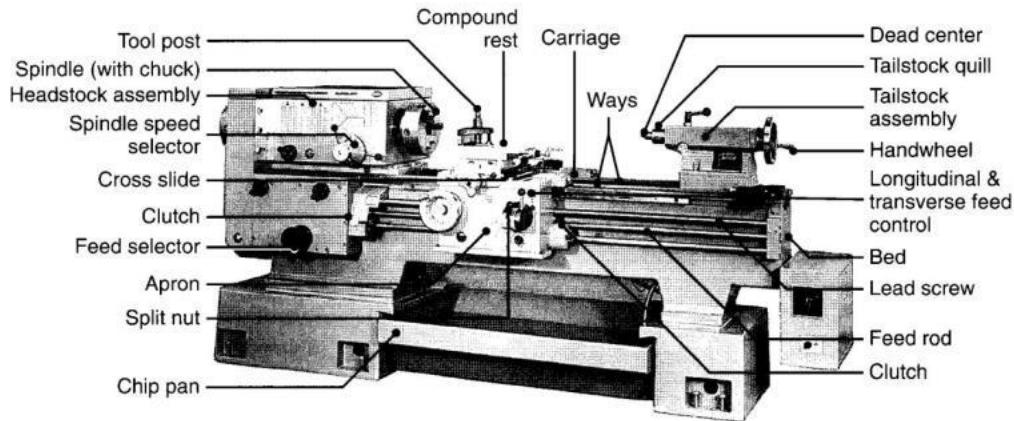
Gambar 2.5 Effect of Damped Vibration Absorber on Main System Response (Rao, 2011)

Dapat dilihat pada persamaan (2.23) bahwa amplitudo dari massa *absorber* (X_2) akan selalu lebih besar dari pada massa sistem utama (X_1). Oleh karena itu desain sistem harus dibuat agar dapat mencukupi kebutuhan dari pergerakan massa *absorber*. Karena besarnya pergerakan dari massa *absorber* (X_2), nilai kekakuan dari *absorber* (K_2) harus didesain dengan mempertimbangkan kekuatan fatigue material. Pada aplikasinya DVA biasanya dalam kondisi *undamped*, dikarenakan pada saat damping *element* ditambahkan pada sistem maka seperti ditunjukkan pada gambar 2.5 diatas bahwasanya pada kondisi resonansi amplitudo dari massa sistem utama tidaklah lagi bernilai nol. Damping *element* ditambahkan hanya pada saat frekuensi band dimana DVA efektif menyerap getaran terlalu curam pada saat dioperasikan.

2.6 Mesin Bubut

Mesin Bubut merupakan mesin perkakas yang digunakan untuk pemotongan benda. Bubut merupakan suatu proses pemakanan benda kerja yang sayatannya dilakukan dengan cara memutar benda kerja kemudian pahat digerakkan secara translasi sejajar dengan sumbu putar benda kerja mengenai benda kerja tersebut. Pada proses pembubutan terdapat berbagai jenis proses seperti pembubutan tepi, pembubutan silindris, pembubutan alur, pembubutan tirus, pembuatan lubang, pelebaran lubang, pembuatan profil bentuk dan penghalusan permukaan. Dan salah satu proses yang dapat dilakukan ialah proses *boring*. Proses *merupakan* proses yang memperbesar lubang yang telah ada menggunakan alat khusus berupa mata pahat pada mesin bubut. Maksimal diameter lubang adalah 36 mm, maka untuk memperoleh diameter yang lebih besar maka harus dilakukan pembubutan dengan menggunakan pahat bubut dalam. Pada mesin bubut, umumnya digunakan

alat potong berupa *single point tool* (mata potong satu) yang terbuat dari HSS atau *Carbide*, *Ceramic*, bahkan intan. Penggunaan alat potong ini bergantung dari jenis bahan yang akan diproses.



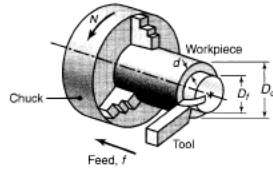
Gambar 2.6 *Lathe Machine*

Pada gambar 2.6 diatas ditunjukkan bagian-bagian pada mesin bubut berikut nama beserta fungsinya:

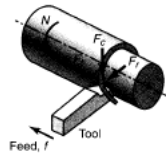
- Landasan (*Bed*) berfungsi sebagai tempat dudukan untuk bagian-bagian lain pada mesin bubut ini seperti kepala tetap dan kepala lepas.
- Eretan Pembawa (*Carriage*) berfungsi sebagai pembawa pahat yang dapat bergerak sepanjang landasan pada mesin bubut.
- Kepala Tetap (*Headstock*) adalah komponen utama yang berfungsi sebagai penggerak *spindle*.
- Kepala Lepas (*Tailstock*) berfungsi sebagai tempat pemasangan center yang digunakan sebagai penumpu ujung benda dan sebagai penjepit mata bor ketika proses *Drilling*
- Chuck, Digunakan untuk memegang dan mengunci benda kerja.
- Lead Screw merupakan ulir yang digunakan untuk menggerakkan Carriage secara otomatis saat pemrosesan berlangsung.

2.7 Gaya pada Proses Bubut

Gaya yang terdapat pada proses pengeboran ialah gaya aksial, gaya radial, dan gaya tangensial. Gaya tersebut mempengaruhi proses pengeboran dan untuk mendesain hasil akhir benda kerja. Material serta desain dari mesin atau alat pengeboran harus dapat menerima ketiga gaya tersebut, agar tidak mengalami kegagalan kerja. Pahat dan komponen mesin juga didesain untuk dapat menerima dan menahan beban atau gaya yang diterima tanpa mengalami defleksi, vibrasi, dan chatter yang berlebih saat proses permesinan berlangsung.



Gambar 2.7 *Machining Process Schematic* (Kalpakjian & Schmid, 2009)



Gambar 2.8 *Force on Machining Process* (Kalpakjian & Schmid, 2009)

Pada gambar diatas gambar 2.6 merupakan gaya yang terjadi pada proses permesinan adalah gaya pemotongan gaya tangensial / *cutting force* (F_c) , gaya axial / *thrust force* (F_t) dan gaya radial / *radial force* (F_r). *Cutting force* (F_c) mempunyai arah kerja kearah bawah pada ujung pahat yang dapat mengakibatkan pahat terdefleksi ke arah bawah, sedangkan benda kerja terdefleksi ke arah atas. Gaya tangensial/*cutting force* menyebabkan momen putar pada boring bar sehingga dianggap sebagai gaya eksitasi vibrasi yang bekerja pada ujung boring bar. *Cutting force* memberikan energy yang dibutuhkan pada proses pemakanan benda kerja. Penentuan *cutting force* didapat dari perkalian antara spesifik energi per unit volume tiap material dengan *material removal rate* (MRR).

Sedangkan gaya radial adalah gaya yang kerjanya searah dengan jari-jari *boring bar*. Gaya radial juga dianggap sebagai gaya eksitasi vibrasi yang bekerja pada *boring bar* dan menyebabkan pahat menjauhi benda kerja. Berikut merupakan spesifik rekomendasi parameter pemotongan proses bubut untuk berbagai material benda kerja dan pahat.

Lalu gaya aksial atau *Thrust force* (F_t) adalah gaya yang bekerja pada arah pemakanan pahat (arah longitudinal) atau gaya yang bekerja kearah sumbu putar dari benda. Gaya aksial yang menyebabkan pahat menerima gaya berlawanan dengan arah pemakanan. Gaya aksial dianggap diabaikan karena nilai gaya ini relatif kecil. Gaya tangensial dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$P = F_c V = E MRR \quad (2.24)$$

Dimana:

$P = Power$

$F_c = Cutting Force$

$V = Cutting Speed$

$E = Specific Energy$

$MRR = Material Removal Rate$

Berdasarkan persamaan (2.24) diatas didapatkan persamaan *cutting force* yakni :

$$F_c = \frac{E MMR}{V} \quad (2.25)$$

Dengan rincian E ialah *Specific Energy* yang bergantung pada material benda kerja, dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1 *Specific Energy on each Workpiece Material*

Material	Specific energy
	W · s/mm ³
Aluminum alloys	0.4–1
Cast irons	1.1–5.4
Copper alloys	1.4–3.2
High-temperature alloys	3.2–8
Magnesium alloys	0.3–0.6
Nickel alloys	4.8–6.7
Refractory alloys	3–9
Stainless steels	2–5
Steels	2–9
Titanium alloys	2–5

MMR atau *Material Removal Rate* merupakan volume material yang termakan dalam satuan waktu, memiliki satuan mm³/min. Dengan setiap putaran dari benda kerja, lapisan material berbentuk ring terlepas yang mana memiliki *cross-sectional area* yang sama dengan perkalian jarak pergerakan pahat dalam satu putaran (*feed, f*) dengan dalam pemotongan (*depth of cut, d*). Volume dari ring merupakan perkalian dari *cross-sectional area* (*f*) (*d*) dengan rata-rata keliling ring (πD_{avg}), dimana

$$D_{avg} = \frac{D_o + D_f}{2} \quad (2.26)$$

Untuk pemotongan ringan pada benda kerja dengan diameter besar, rata-rata diameter dapat diganti dengan nilai D_o .

Kecepatan putar benda kerja adalah N , dan *material removal rate* setiap satu putaran adalah $(\pi)(D_{avg})(d)(f)$. Diketahui bahwa N merupakan puritan per menit, dapat diketahui *material removal rate* adalah

$$MRR = \pi D_{avg} d f N \quad (2.27)$$

Keakuratan dimensi dari persamaan ini dapat di pastikan dengan mensubstitusikan dimensi menjadi right-hand side. Yakni, (mm)(mm)(mm/rev)(rev/min) = mm³/min, yang mana mengindikasikan volume rate removal. Persamaan (2.26) diatas juga dapat ditulis sebagai

$$MRR = d f V \quad (2.28)$$

Dimana:

d = *depth of cut*

f = *feeds*

v = *cutting speeds*

Depth of cut (d), Feeds (f), Cuttingspeed (V). Merupakan parameter pemotongan yang mana memiliki tingkat efektif masing-masing bergantung pada material benda kerja dan pahat. tabel 2.2 berikut merupakan spesifik rekomendasi parameter pemotongan proses turning untuk berbagai material benda kerja dan pahat.

Tabel 2.2 General Recommendations for Turning process

General Recommendations for Turning Operations							
Workpiece material	Cutting tool	General-purpose starting conditions			Range for roughing and finishing		
		Depth of cut, mm	Feed, mm/rev	Cutting speed, m/min	Depth of cut, mm	Feed, mm/rev	Cutting speed, m/min
Low-C and free machining steels	Uncoated carbide	1.5-6.3	0.35	90	0.5-7.6	0.15-1.1	60-135
	Ceramic-coated carbide	"	"	245-275	"	"	120-425
	Triple-coated carbide	"	"	185-200	"	"	90-245
	TiN-coated carbide	"	"	105-150	"	"	60-230
	Al ₂ O ₃ ceramic	"	0.25	395-440	"	"	365-550
	Cermet	"	0.30	215-290	"	"	105-455
Medium and high-C steels	Uncoated carbide	1.2-4.0	0.30	75	2.5-7.6	0.15-0.75	45-120
	Ceramic-coated carbide	"	"	185-230	"	"	120-410
	Triple-coated carbide	"	"	120-150	"	"	75-215
	TiN-coated carbide	"	"	90-200	"	"	45-215
	Al ₂ O ₃ ceramic	"	0.25	335	"	"	245-455
	Cermet	"	0.25	170-245	"	"	105-305

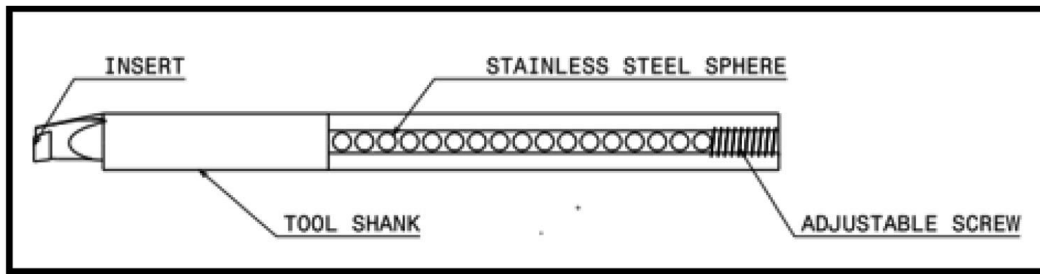
2.8 Vibrasi dan Chatter pada Proses Bubut

Pada saat pengeboran terdapat gaya yang bekerja secara fluktuatif yang mengakibatkan timbulnya getaran berlebih, getaran berlebih karena frekuensi getaran pada gaya eksitasi mendekati frekuensi natural dari pahat. Vibrasi yang berlebih dan *chatter* dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen mesin, dan mengurangi akurasi dan presisi dari komponen mesin sehingga hasil produk akhir pada benda kerja menjadi kurang maksimal. Terdapat beberapa cara untuk mengurangi getaran dan *chatter*, seperti :

- Meminimalisir *tool overhang*
- Meningkatkan kekakuan dari *work-holding devices* dan *support workpiece*.
- Memasang DVA pada *boring bar*
- Mengubah parameter pemotongan, seperti *cutting speed, feed, depth of cut*, dan *cutting fluids*.
- Meningkatkan kekakuan dari komponen mesin dengan dimensi yang besar dan menggunakan material dengan modulus elastisitas yang tinggi.

2.9 Tinjauan Pustaka

Selanjutnya, telah dilakukan penelitian oleh beberapa akademisi dan mahasiswa yang berkaitan dengan penelitian ini. Penelitian tentang *Dynamic Vibration Absorber (DVA)* sebelumnya pernah dilakukan oleh *Lawrance*. Dalam jurnalnya yang berjudul “*Influence of Stainless Steel Impact Damper on Tribological Properties during Boring Process*”, *Lawrance* melakukan penelitian melalui simulasi untuk mengetahui respon dari suatu sistem yang divariasikan variabelnya dan property yang ditentukan.



Gambar 2.9 Boring Tool and DVA Stainless Steel Sphere System

Pada Gambar 2.9 digambarkan sistem *boring tool* dan *DVA Stainless Steel Sphere* sebagai alat utama penelitian yang digunakan untuk memberikan hasil perbandingan getaran saat sebelum diberikan DVA dan sesudah diberi DVA pada variabel *Cutting Speed*, *Feed*, dan *Depth of Cut*. Dan untuk mendapatkan hasil desibel yang diteliti, maka ditentukan property seperti *Tool Vibration* (mm), *Cutting Force* (N), *Surface Roughness* (μm), dan *Tool Wear* (mm). Dengan mengkonversi perhitungan *S : N Ratio (Signal to Noise Ratio)* menggunakan software *MINITAB*. Setelah dilakukan percobaan dengan ditambahkan *DVA Stainless Steel Sphere*, didapat perbandingan hasil yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

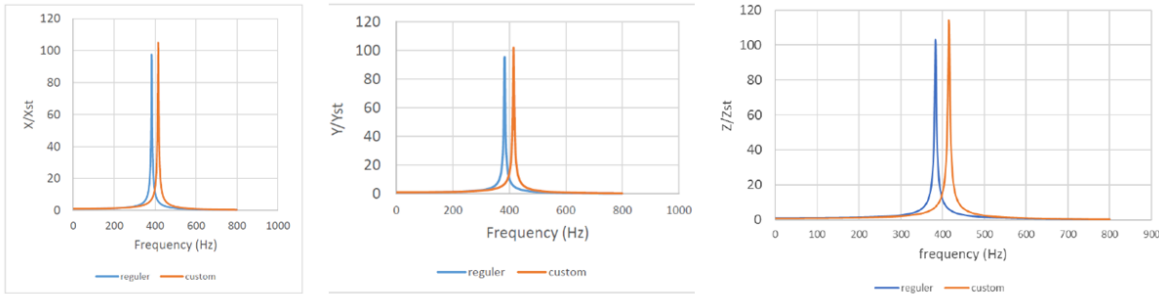
Comparison test with stainless steel sphere filled impact damper and conventional boring tool.				
S. No	Tribological properties	Boring tool with impact damper	Conventional boring tool	% Reduction
1	Tool Vibration (mm)	0.75	1.98	62
2	Cutting Force (N)	139	3234	95
3	Surface Roughness (μm)	0.66	3.02	78
4	Tool Wear (mm)	0.61	3.14	80

Gambar 2.10 Comparison of Lawrence's Research Results

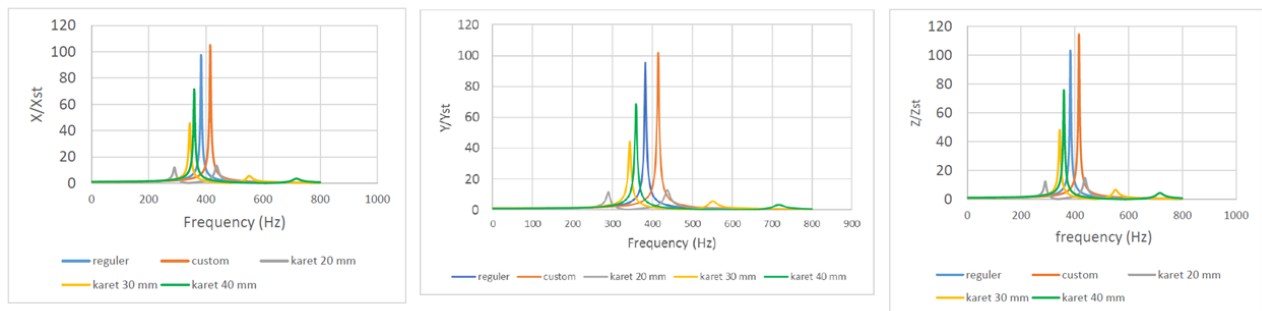
Gambar 2.10 menunjukkan perbandingan hasil akhir setelah konversi dan perhitungan pada property sebelum diberikan DVA dan sesudah diberikan DVA. Hasil menunjukkan bahwa setelah diberikan DVA, pada tool vibration mengalami peredaman getaran sebesar 62%, cutting force mengalami peredaman getaran sebesar 95 %, surface roughness mengalami peredaman getaran sebesar 78%, dan tool wear mengalami peredaman getaran sebesar 80%.

Penelitian kedua sebagai referensi ialah penelitian yang dilakukan oleh *Reno Hari Pratikno* pada tahun 2020 dengan judul “*Pemodelan dan Simulasi Pengaruh Kekakuan Karet DVA pada Boring Bar terhadap Reduksi Getaran Boring Bar pada Proses Permesinan*”, penulis menganalisa penggunaan DVA pada mesin bubut saat proses *boring* dengan variasi penggunaan boring L/D_0 8, dengan panjang 256 mm dan diameter sebesar 32 mm dengan DVA dan tanpa DVA. Mesin bubut merupakan salah satu jenis mesin perkakas yang digunakan untuk memotong benda. Bubut sendiri merupakan suatu proses pemakanan benda kerja yang sayatannya dilakukan dengan cara memutar benda kerja kemudian pahat digerakkan secara translasi sejajar dengan sumbu putar benda kerja

mengenai benda kerja tersebut. DVA diletakkan didalam *boring bar* dengan desain massa absorber berbentuk *cylinder* dengan material tungsten carbide yang bertujuan untuk meredam getaran dengan panjang 90 mm dan diameter 16 mm, pada pada kedua ujung massa absorber dilapisi karet bermaterial *natural rubber* sebagai kekakuan dva dengan diameter luar 21 mm dengan variasi panjang karet 20 mm, 30 mm, 40 mm. Simulasi dilakukan pada variasi putaran spindel 250 rpm, 370 rpm, 630 rpm, 920 rpm dengan gaya F_c , F_t , F_r pada ujung insert boring bar, depth of cut 0.4 mm dan feed rate 0.1 mm. Analisa dilakukan dengan menggunakan *software Ansys Wokbench*. Untuk mengetahui hasil getaran.



Gambar 2.11 Main System Bode Diagram without DVA on the -axis X (radial) , Y (tangential), and Z (axial) (Pratikno, 2020)



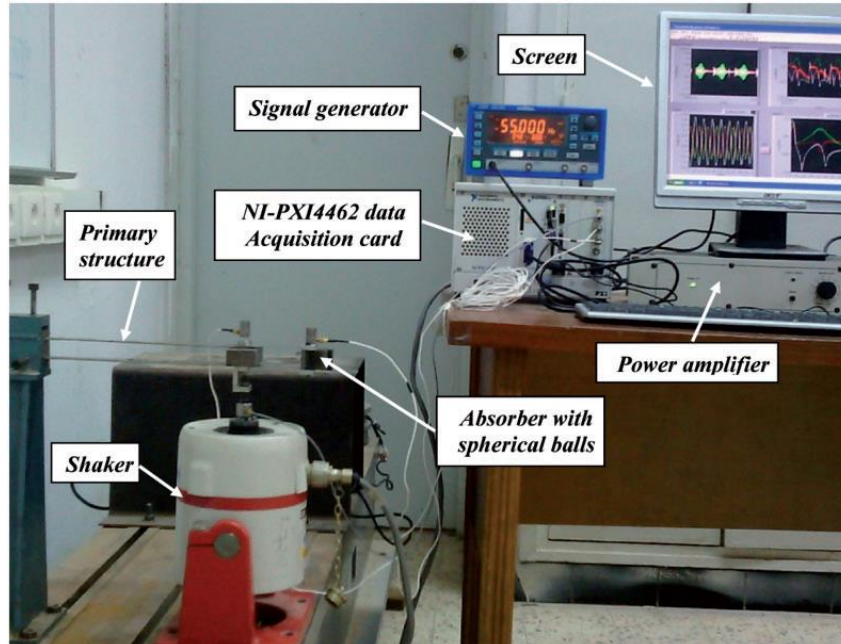
Gambar 2.12 Axis Graph Comparison X (radial) , Y (tangential), dan Z (axial) after being given DVA with rubber variations 20 mm, 30 mm dan 40 mm (Pratikno, 2020)

rpm	frek operasional	respon boring bar reguler tanpa dva (mm)			variasi karet	respon boring bar custom dengan dva (mm)			reduksi getaran (%)			ket.
		x	y	z		x	y	z	x	y	z	
250	432	0.089103	0.28385	0.005618	20 mm	0.23955	0.77669	0.015774	-168.85%	-173.63%	-180.77%	reduksi
					30 mm	0.020784	0.066275	0.001193	76.67%	76.65%	78.77%	
					40 mm	0.045241	0.14501	0.002675	49.23%	48.91%	52.39%	
370	410	0.16742	0.53303	0.010486	20 mm	0.065777	0.21434	0.004365	60.71%	59.79%	58.38%	reduksi
					30 mm	0.034436	0.11061	0.002053	79.43%	79.25%	80.43%	
					40 mm	0.069385	0.22349	0.004184	58.56%	58.07%	60.10%	
630	364	0.24319	0.79987	0.015032	20 mm	0.015455	0.050958	0.001084	93.64%	93.63%	92.79%	reduksi
					30 mm	0.14538	0.47171	0.008954	40.22%	41.03%	40.44%	
					40 mm	0.74911	2.4854	0.046555	-208.03%	-210.73%	-209.71%	
920	312	0.071688	0.23504	0.004374	20 mm	0.035401	0.1134	0.002075	50.62%	51.75%	52.55%	reduksi
					30 mm	0.11442	0.3687	0.007155	-59.61%	-56.87%	-63.59%	
					40 mm	0.09589	0.31047	0.006106	-33.76%	-32.09%	-39.60%	

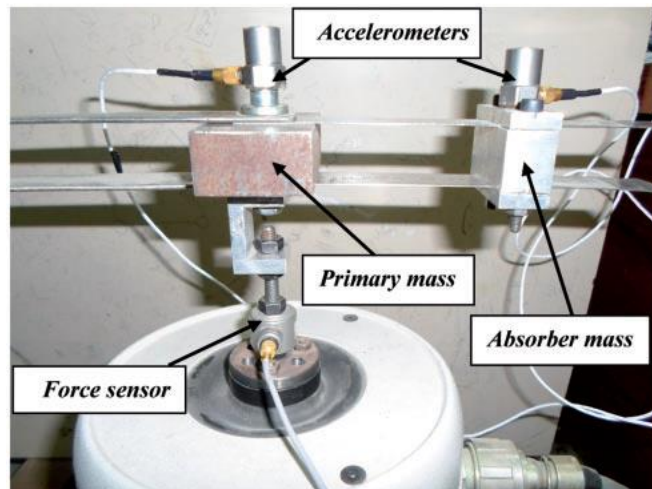
Gambar 2.13 Comparison of Spindle Rotation Vibration Reduction 250 rpm, 370 rpm, 630 rpm, and 920 rpm (Pratikno, 2020)

Pada gambar 2.11, 2.12, dan 2.13 diatas, hasil simulasi dapat didapatkan bahwa grafik respon redaman getaran pada sebelum diberi DVA dan sesudah diberi DVA, didapatkan hasil setelah diberi DVA dengan variasi panjang karet 20 mm, 30 mm, dan 40 mm menunjukkan peredaman yang lebih baik dibandingkan dengan sebelum diberi DVA ditunjukkan pada grafik yang lebih rendah. Dan Didapatkan hasil reduksi paling optimum yaitu dva dengan variasi karet 30 mm dimana mampu mereduksi sebesar 79% ketika sistem bekerja pada putaran spindel 370 rpm dengan frekuensi operasi 410 Hz yang mendekati frekuensi natural sistem utamanya. Dan pada dva 30 mm juga dapat mereduksi getaran pada variasi kecepatan putar spindel 250, 370, 630 rpm. Sedangkan untuk reduksi tertinggi didapat dva dengan variasi karet 20 mm pada kecepatan putar spindel 630 rpm dengan frekuensi operasi 364 Hz dengan reduksi sebesar 93,64% arah radial, 93,63% arah tangensial, dan 92,79% arah axial.

Selanjutnya penelitian ini menggunakan beberapa referensi penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Penelitian oleh (Chari, Riadh; Djemal, Fathi, 2016) pada jurnalnya yang berjudul “*Experimental Study of Passive Vibration Suppression using Absorber with Spherical Ball Impact Damper*” melakukan penelitian dengan mempraktekkan proses peredaman getaran dengan menggunakan bola *spherical* yang diletakkan di dalam kotak baja berukuran 25 x 25 x 32 mm. Percobaan dilakukan dengan menggunakan suspense massa logam prismatic yang ditopang oleh dua balok baja parallel dipasang di satu sisi, seperti pada gambar 2.14.

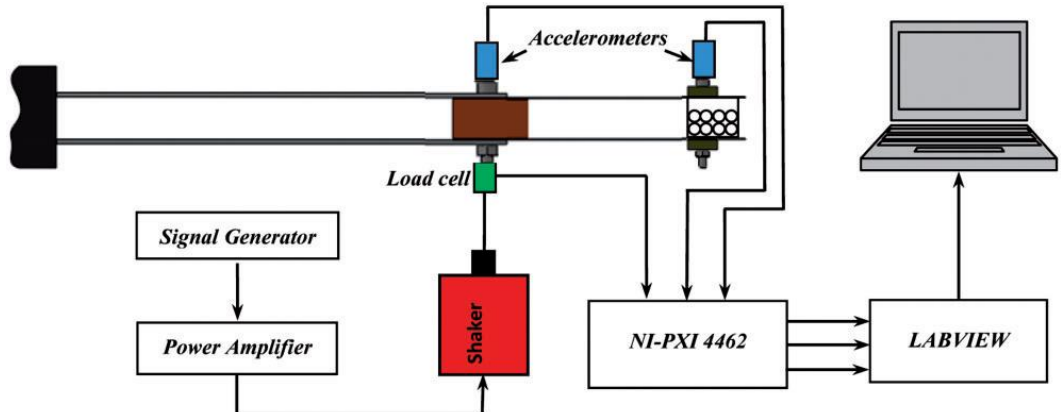


Gambar 2.14 *Experiment Design*



Gambar 2.15 *Absorber linear design*

Ekspirimen ini memiliki 2 langkah, yang pertama melakukan percobaan untuk menentukan frekuensi resonansi dan mengukur fungsi respon frekuensi dari struktur utama saat tidak menggunakan peredam (*absorber*) yang dianggap sebagai *single degree of freedom* dari sistem vibrasi linear. Selanjutnya Langkah kedua, melakukan percobaan menggunakan bola *spherical* dengan total 36 kombinasi dari parameter tiga ukuran bola (*small, medium* dan *large*), tiga macam frekuensi dan banyaknya bola berdasarkan massa. Dengan skema diagram dan tipe bola yang digunakan seperti gambar dibawah,



Gambar 2.16 Experiment Diagram Schematic



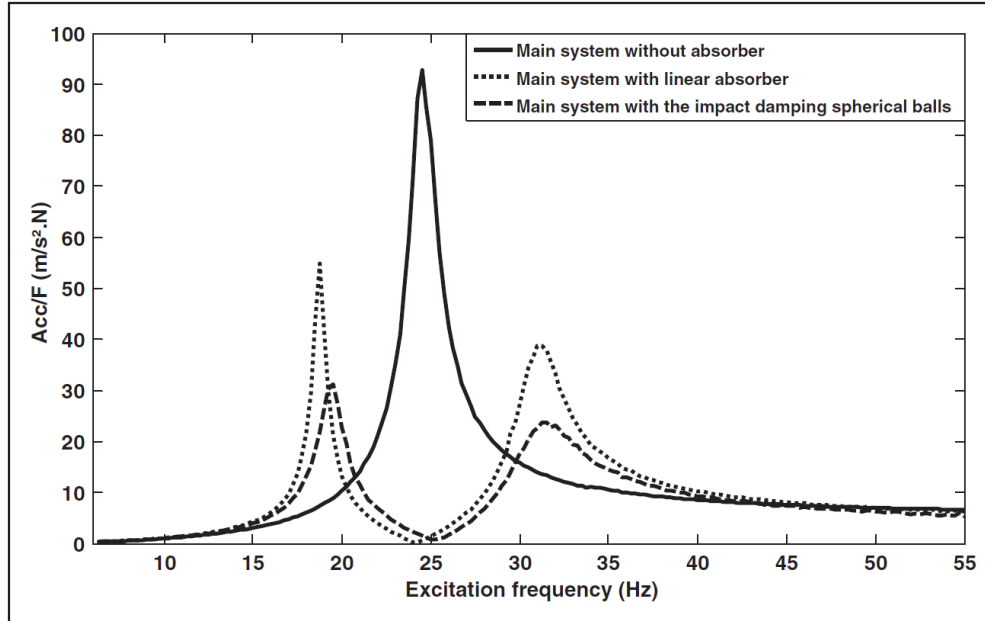
Gambar 2.17 Three Size of Balls

Tabel 2.3 Experiment Configuration (36 Configurations)

	Size of balls	Number of balls	Total mass of balls	Exciting amplitude force
Configuration 1				F1
Configuration 2		25	M1	F2
Configuration 3				F3
Configuration 4				F1
Configuration 5		50	M2	F2
Configuration 6				F3
Configuration 7	$\phi 4$			F1
Configuration 8		75	M3	F2
Configuration 9				F3
Configuration 10				F1
Configuration 11		100	M4	F2
Configuration 12				F3
Configuration 13				F1
Configuration 14		6	M1	F2
Configuration 15				F3
Configuration 16				F1
Configuration 17		12	M2	F2
Configuration 18				F3
Configuration 19	$\phi 6.3$			F1
Configuration 20		18	M3	F2
Configuration 21				F3
Configuration 22				F1
Configuration 23		24	M4	F2
Configuration 24				F3
Configuration 25				F1
Configuration 26		1	M1	F2
Configuration 27				F3
Configuration 28				F1
Configuration 29		2	M2	F2
Configuration 30				F3
Configuration 31	$\phi 12$			F1
Configuration 32		3	M3	F2
Configuration 33				F3
Configuration 34				F1
Configuration 35		4	M4	F2
Configuration 36				F3

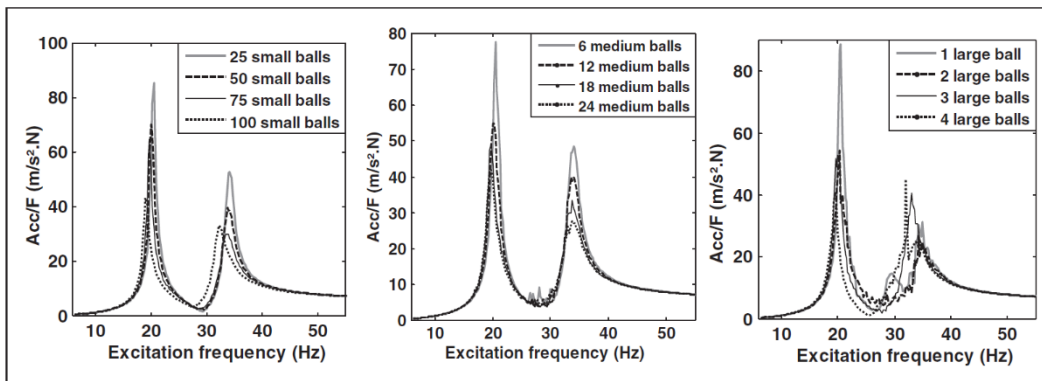
M1 = mass of 25 small balls = mass of 6 medium balls = mass of 1 large balls.
M2 = mass of 50 small balls = mass of 12 medium balls = mass of 2 large balls.
M3 = mass of 75 small balls = mass of 18 medium balls = mass of 3 large balls.
M4 = mass of 100 small balls = mass of 24 medium balls = mass of 4 large balls.

Pada Tabel 5 menunjukkan terdapat 3 ukuran bola, yakni *small* berdiameter 4mm, *medium* berdiameter 6.3 mm, dan *large* berdiameter 12 mm. Dan diperoleh hasil grafik perbandingan respon getaran sebelum diberi peredam (*absorber*) dan sesudah diberi peredam (*absorber*) pada amplitude 10 V seperti gambar 2.18.



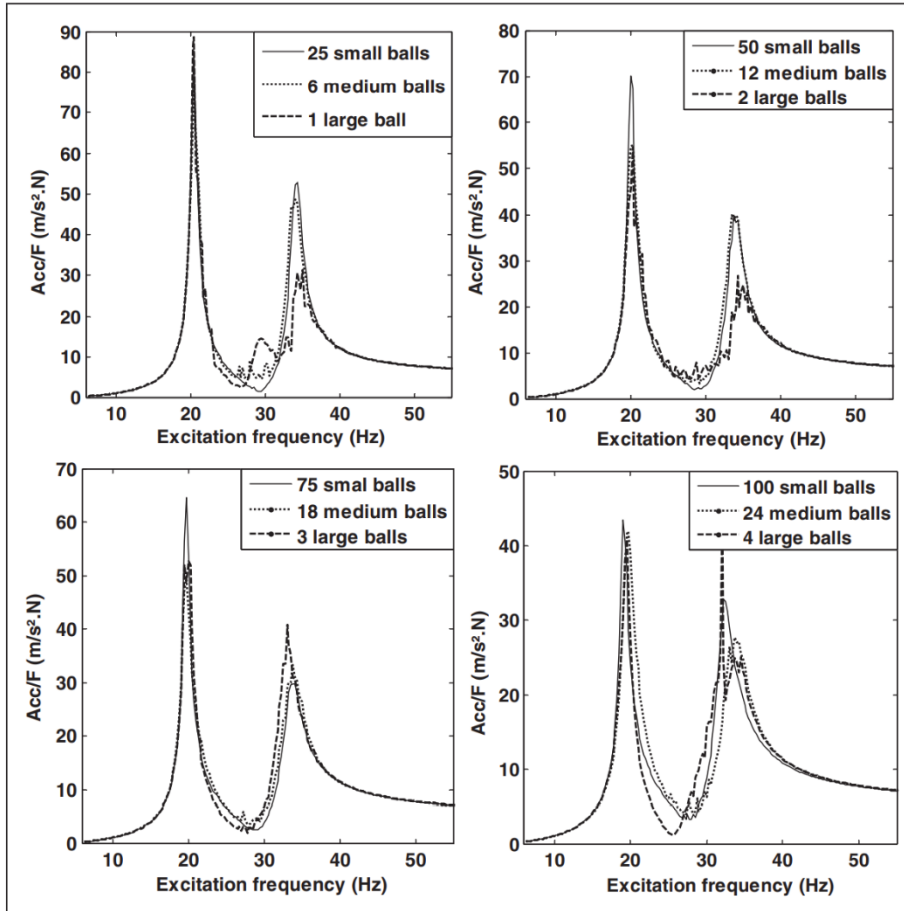
Gambar 2.18 Comparison Graph of Vibration Response Before and After Damping

Diperoleh grafik perbandingan efek hasil peredaman berdasarkan ukuran bola yang memberikan hasil dalam tiap ukuran bola, semakin banyak bola yang digunakan maka peredaman semakin besar, sehingga getaran yang dihasilkan berkurang. seperti gambar 2.19.



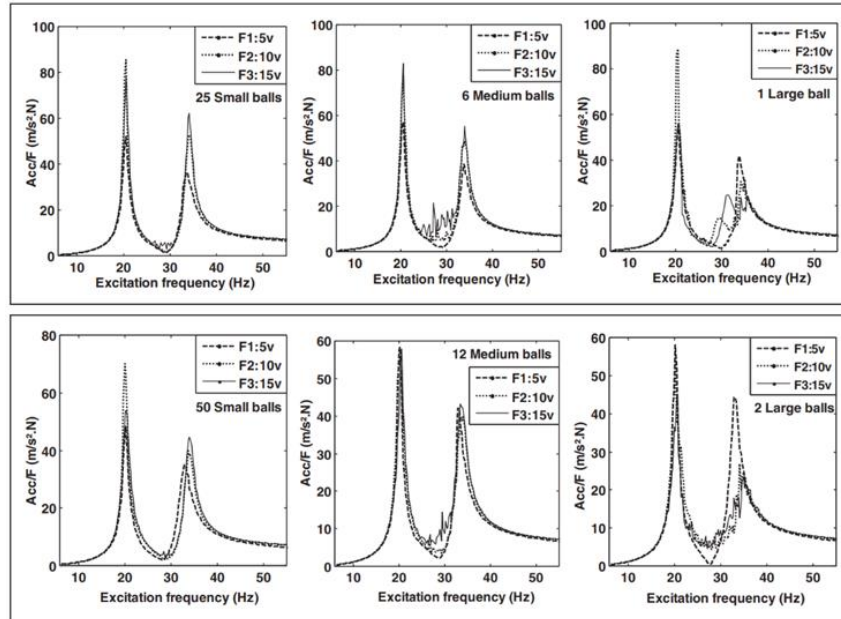
Gambar 2.19 Comparison Graph of Damping Results by Ball Size

Selanjutnya diperoleh grafik perbandingan efek hasil peredaman berdasarkan massa *absorber* sesuai table 5 yakni M1, M2, M3, dan M4, semakin besar M maka massa absorber semakin berat. Dengan didapatkan hasil semakin berat massa nya maka peredaman akan lebih besar, maka getaran akan berkurang daripada massa bola yang kecil. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.20.

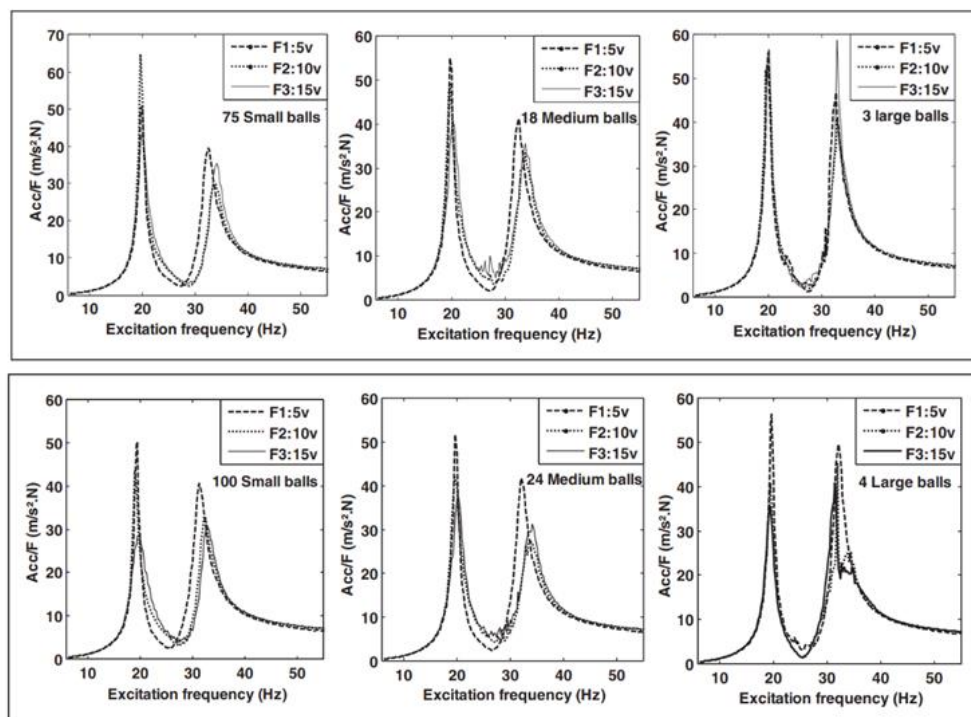


Gambar 2.20 Comparison Graph of Damping Results based on Absorber Mass

Pada perbandingan terakhir dari penelitian ini, ialah grafik hasil peredaman frekuensi getaran (dengan tiga macam frekuensi) yang dibagi berdasarkan massa *absorber* M1, M2, M3, dan M4. Dengan hasil penelitian seperti gambar 2.21.



Gambar 2.21 Comparison Graph of the results of vibration frequency damping based on the distribution of the mass of the balls M1 (top) and M2 (bottom)

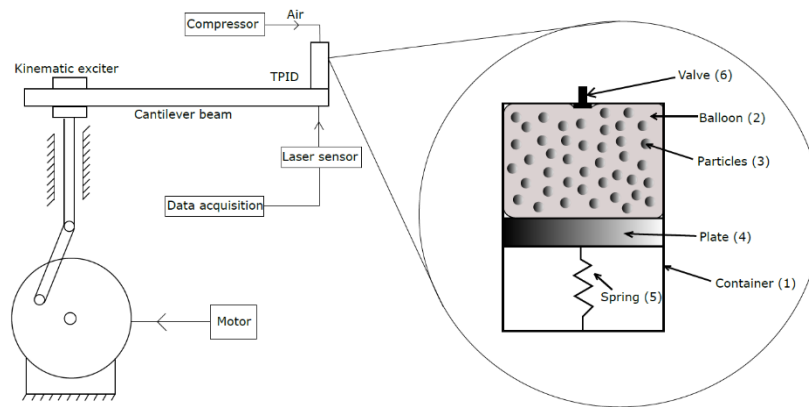


Gambar 2.22 Comparison Graph of the results of vibration frequency attenuation based on the mass division of the M3 (top) and M4 (bottom) balls

Hasil penelitian memiliki 3 kesimpulan, yang pertama bahwa pengaruh ukuran bola pada redaman tergantung pada massa absorber yang digunakan, jika massa absorber rendah, sebaiknya digunakan bola ukuran besar (*large*), tetapi jika massa absorber tinggi, lebih efisien menggunakan

bola ukuran sedang (*medium*). Yang kedua, bola memaksimalkan energi yang hilang dari gesekan yang terjadi, dan yang ketiga, Ketika tingkat eksitasi lebih tinggi, maka redaman dimaksimalkan dengan menggunakan banyaknya jumlah bola ukuran kecil (*small*).

Penelitian keempat yang digunakan sebagai referensi ialah jurnal yang berjudul “*Damping of Beam Vibrations Using Tuned Particles Impact Damper*” yang ditulis oleh (Zurawski, Mateusz; Zalewski, Robert, 2020). Penulis melakukan Analisa redaman dengan menggunakan DVA berupa bulir yang yang ditempatkan di dalam balon dan diletakkan di dalam *Tuned Particle Impact Damper* (TPID). DVA diletakkan pada *cantilever beam* yang tersambung dengan motor dan *kinematic exciter*. TPID disini dipergunakan sebagai alat tambahan yang bisa diberikan kepada beberapa macam sistem mekanik untuk mengatur fitur dinamik seperti mereduksi getaran. Penulis melakukan Analisa mensimulasikan respon getaran yang dihasilkan dengan mengatur volume balon yang berada didalam container TPID, lalu menempatkan DVA dan kemudian dilakukan eksperimen peredaman getaran. Parameter variasi yang digunakan ialah jenis material dari DVA bola yakni *steel* dan *plastic*.



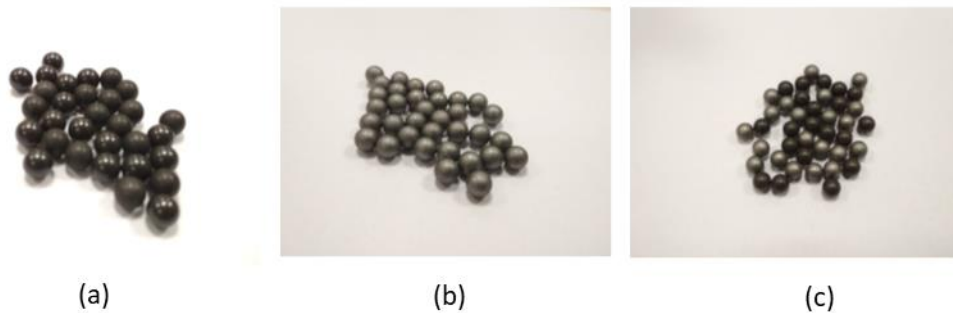
Gambar 2.23 *PTID Scheme and Main System*



Gambar 2.24 Overall Test Tool

Tabel 2.4 Parameters used during Experiment

Component	Parameter	Value
Cantilever beam	Size	Length: 600 [mm], Width: 35 [mm], High: 2 [mm]
	Material	Steel
PID	Size	Length: 63 [mm], Width: 63 [mm], High: 200 [mm]
	Material	Plastic and steel
Grains-case 1	Size	$D = 6$ [mm]
	Material	Plastic
	Density	$\rho_p = 1000$ [$\frac{kg}{m^3}$]
Grains-case 2	Size	$D = 6$ [mm]
	Material	Steel
	Density	$\rho_s = 7860$ [$\frac{kg}{m^3}$]
Grains-case 3	Size	$D = 6$ [mm]
	Material	Mixed (plastic and steel)
Balloon	Size	$Volume_1 = 0.20$ [dm ³]
		$Volume_2 = 0.35$ [dm ³]
		$Volume_3 = 0.50$ [dm ³]
		$Volume_4 = 0.65$ [dm ³]
		$Volume_5 = 0.79$ [dm ³]
	Material: rubber	

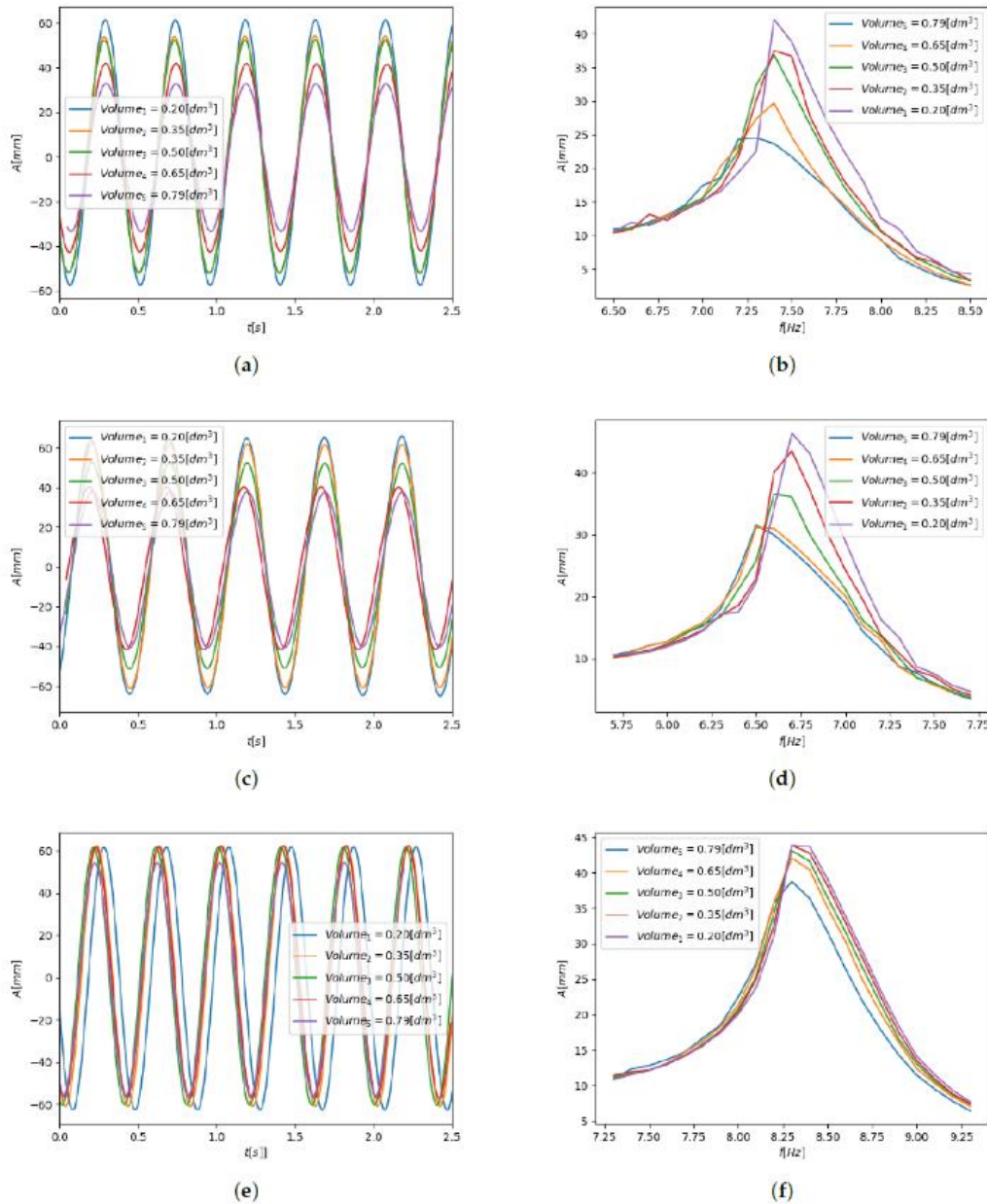


Gambar 2.25 Variations of Grain Type. (a) Plastic, (b) Steel, and (c) Mixed (Plastic dan Steel)

Proses Analisa diawali dengan merumuskan persamaan RMS (*Root Mean Square*). Nilai RMS dari ujung balok perpindahan untuk berbagai parameter operasi ditentukan untuk mengungkap respons getaran yang direkam. Dengan rumus RMS seperti berikut,

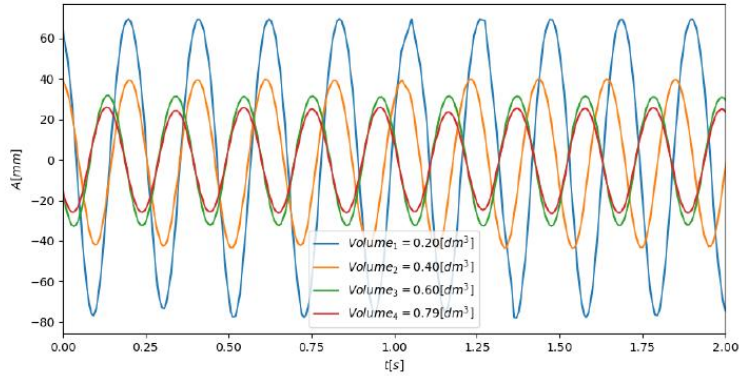
$$DRMS = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n ai(fi)^2}}{n}$$

Dimana ai ialah maksimum pemindahan amplitude pada i siklus vibrasi, fi ialah frekuensi eksitasi, dan n ialah jumlah nilai amplitude pada setiap kasus. Dengan diasumsikan Mp ialah total massa partikel adalah 5%, 10% dan 20% dari seluruh sistem Massa (M_s).

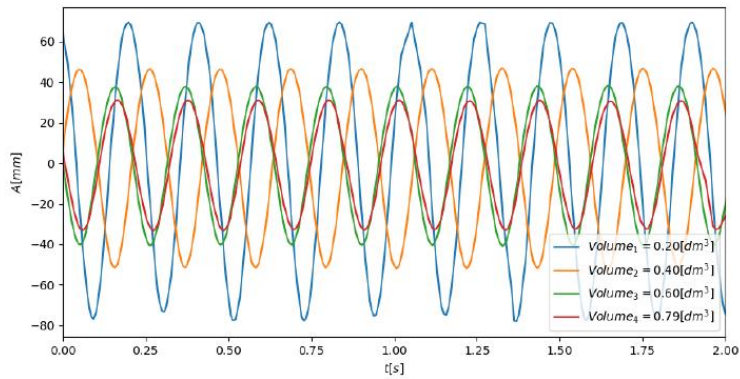


Gambar 2.26 Displacements Wave (a,c,e) dan Nilai RSM (b,d,f) untuk property variasi. (a) Beam Displacements $Mp = 0.1Ms$, (b) Nilai RMS dari Beam Displacements $Mp = 0.1Ms$, (c)

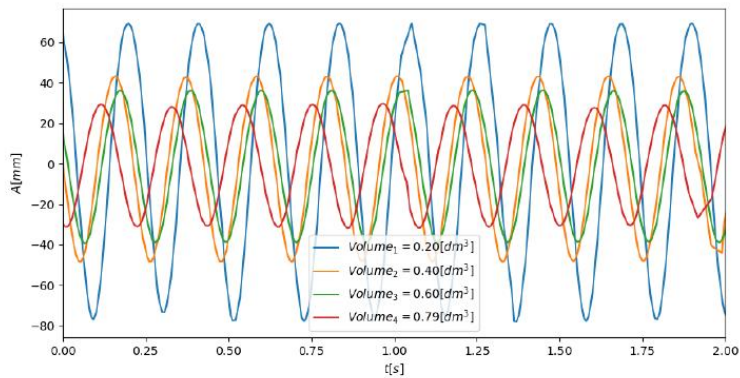
Beam Displacements $M_p = 0.2M_s$, (d) Nilai RMS dari Beam Displacements $M_p = 0.2M_s$, (e) Beam Displacements $M_p = 0.05M_s$, (f) Nilai RMS dari Beam Displacements $M_p = 0.05M_s$.



(a)



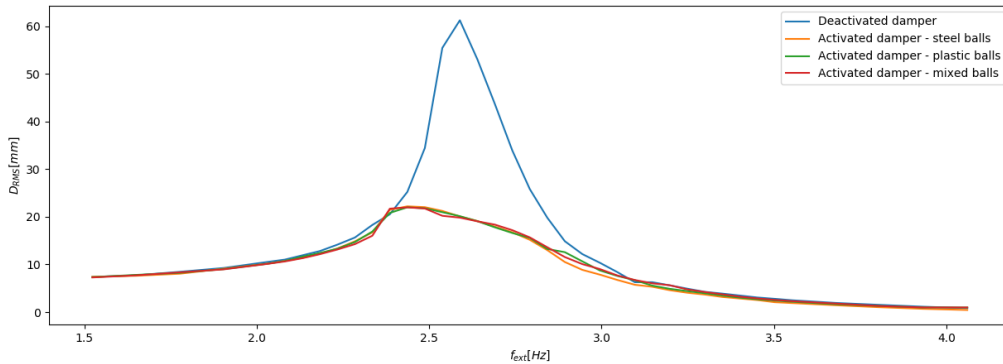
(b)



(c)

Gambar 2.27 Displacements Wave for Balls Variations. (a) Beam Displacements Steel Ball; (b) Beam Displacements Plastic Balls; (c) Beam Displacements Mixed Balls

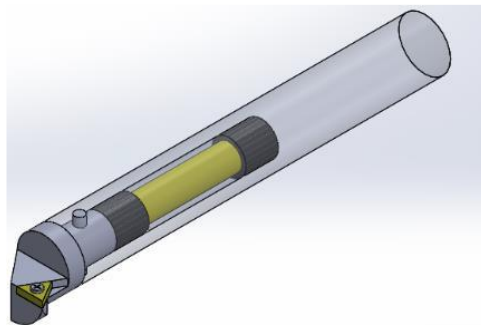
Analisa data pada gambar 2.27 (a) atau pada grafik bulir *steel* menunjukkan bahwa proses dissipasi energi partikel *steel* efektif. Sementara grafik untuk bulir *plastic* dan bulir campuran (*mixed*) menunjukkan penurunan tetapi tidak sebgas bulir *steel*. Pada Gambar 2.28 menunjukkan bahwa didapat nilai RMS untuk variasi bulir dan penulis mengambil kesimpulan bahwa bulir *plastic* menjadi solusi optimal.



Gambar 2.28 RMS value of Displacements for grain variation

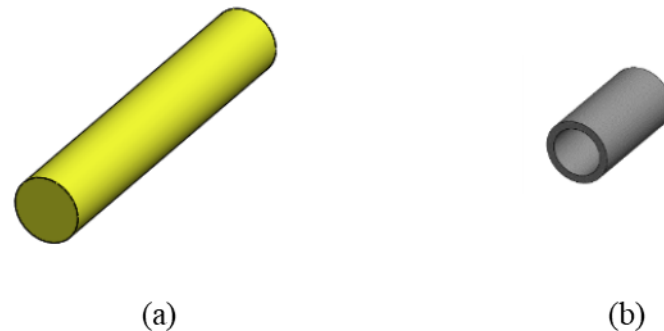
Penulis mengambil kesimpulan akhir bahwa telah terkonfirmasi alat TPID yang digunakan, variasi bulir bola dan bulir plastik dapat memberikan redaman yang efisien dari amplitude getaran balok di jangkauan getaran frekuensi resonansinya.

Penelitian kelima sebagai referensi penelitian ini merupakan Tugas Akhir dari Iqbal Nur Fauzi Wibowo pada tahun 2020 yang berjudul “Studi Eksperimental dan Analisa Reduksi Respon Getaran pada *Boring Bar* dengan DVA jenis *Rubber* serta Efek *Chatter* pada Proses Pengeboran dengan Mesin Bubut”. Penulis menganalisa tentang reduksi getaran menggunakan DVA pada mesin bubut. Analisa dilakukan dengan melakukan eksperimen menggunakan *boring bar* yang diuji dengan menambahkan *input* variasi kekakuan karet DVA berdasarkan panjangnya (20 mm, 30 mm, 40 mm) dan putaran *spindle* (320 rpm, 450 rpm, 720 rpm), dan *depth of cut* (0.05 mm, 0.15 mm, 0.25 mm) yang akan mengeluarkan output berupa reduksi respon getaran dan *profile* kualitas *chatter* pada proses boring. Penulis membuat rancangan dengan membuat *boring bar* yang diberikan DVA berupa karet (*rubber bush*), seperti yang terlihat pada gambar 2.29 berikut :



Gambar 2.29 Customized Boring Bar Design

Dengan rincian desain terdiri dari Massa DVA dan *Natural Rubber* seperti pada gambar 2.30 berikut :



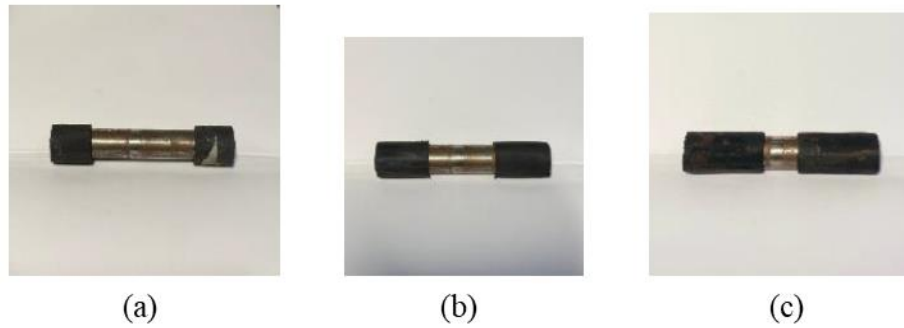
Gambar 2.30 (a) DVA Mass, dan (b) *Natural Rubber*

Pada *Customized Boring Bar* terdiri dari head, body, dan insert. Head duat dengan material AISI 1045 yang memiliki diameter 32 mm dengan panjang keseluruhan 55 mm, dengan bagian belakang memiliki diameter lebih kecil yakni 21 mm dengan panjang 25 mm dan diberi lubang dengan diameter 6 mm guna tempat masuk pin sebagai fitting bagian head dengan body, dengan bagian ujung depan terdapat tempat untuk insert berbentuk segitiga dengan ulir kecil dengan ukuran 5 mm sebagai fitting dengan insert. Body DVA juga terbuat dari AISI 1045, dengan diameter sebesar 32 mm, panjang overhang 150 mm dan mempunyai total panjang 384 mm. Terdapat bagian lubang di ujung body untuk tempat pengunci pin antara body dan head. Body mempunyai panjang 226 mm dan bagian depan diberi cavity dengan kedalaman 125 mm dan diameter 21 mm, pada bagian depan cavity terdapat lubang dengan diameter 6 mm sebagai tempat masuknya pin, dan lubang yang berdiameter 20 mm sebagai tempat masuknya batang penyangga dari bed. Pada clamp bagian depan DVA terdapat profil datar sebagai tempat baut mencengkeram boring bar dan sebagai tempat peletakan probe.



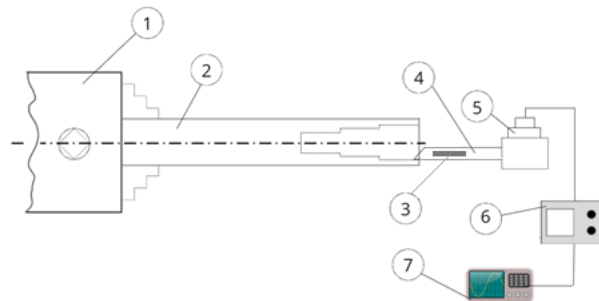
Gambar 2.31 *Customized Boring Bar*

Kekakuan absorber yang digunakan pada penelitian ialah rubber bush sejumlah 2 buah yang diletakkan pada bagian tepi. Digunakan rubber bush dengan diameter dalam 16 mm dan diameter luar 21 mm dengan Panjang 20 mm, 30 mm, dan 40 mm. Dengan DVA tampak seperti pada gambar 2.32 berikut :



Gambar 2.32 DVA Variations (a) 20 mm *Natural Rubber*, (b) 30 mm *Natural Rubber*, (c) 40 mm *Natural Rubber*

Eksperimen dilakukan dengan menginstal peralatan seperti gambar 2.33 berikut :

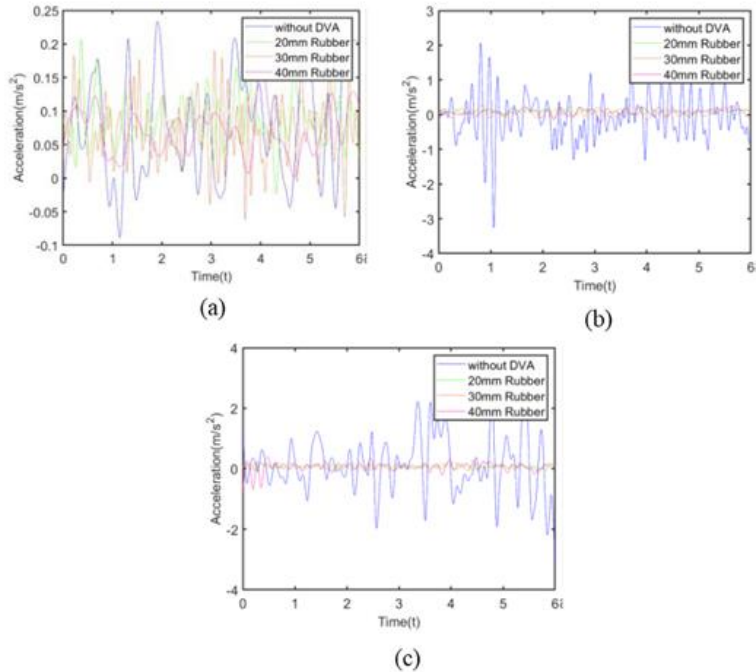


Gambar 2.33 Tool Scheme

Dimana

1. Chuck
2. Spesimen
3. DVA
4. Boring bar
5. Accelerometer probe
6. DC Power Supply
7. Oscilloscope

Lalu penulis mengumpulkan hasil analisis pada Y-Axis Boring Bar dengan DVA dan tanpa DVA yang telah didapatkan hasil olahan data dari Oscilloscope yang telah difilter menggunakan excel dan software MATLAB dan didapatkan hasil pada hasil RMS di masing-masing variasi putaran *spindle*, *depth of cut*, dan variasi DVA. Dengan hasil pada putaran spindle RPM 320 ialah :



Gambar 2.34 The results of the comparison of the X-Axis Boring Bar vibration response with DVA and without DVA at spindle rotation RPM 720 (a) DoC 0.2 mm, (b) Doc 0.3 mm (c) Doc 0.4 mm

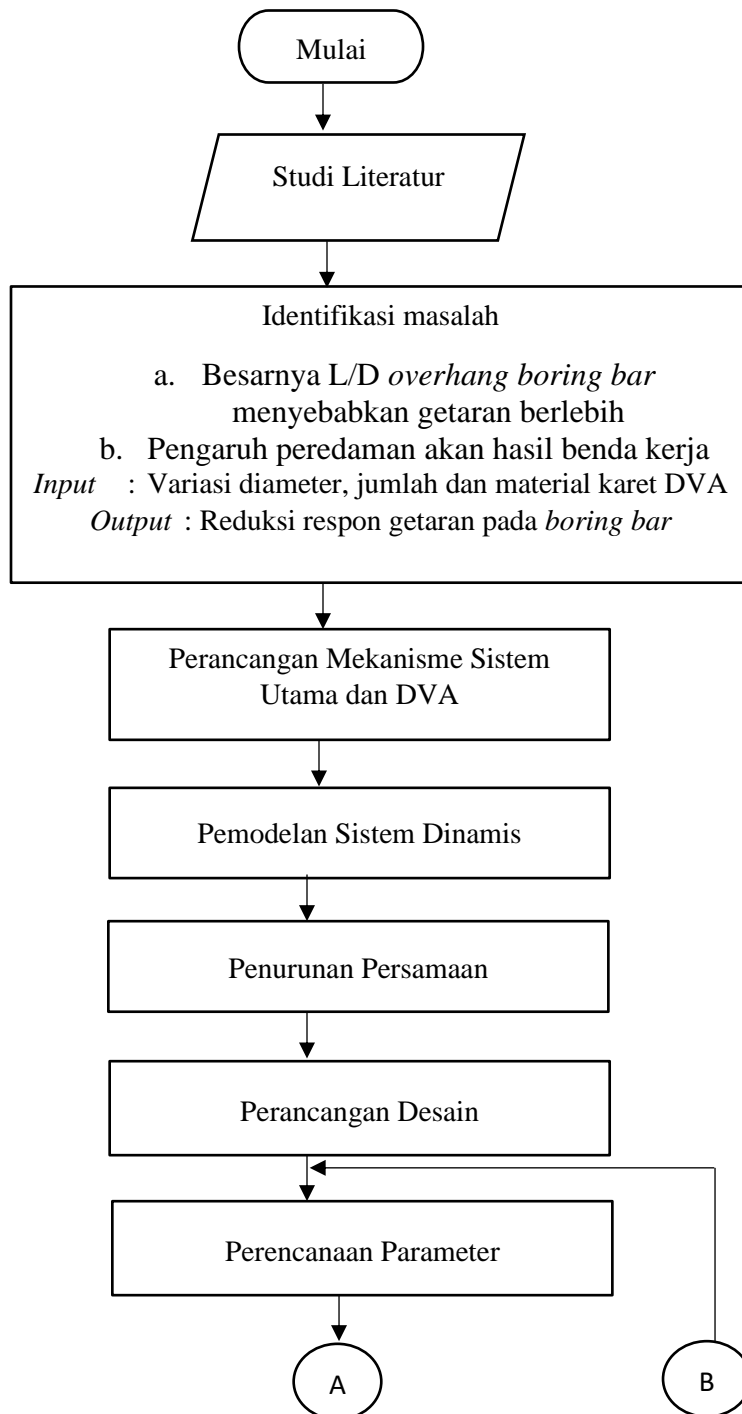
Penulis menuliskan beberapa kesimpulan, yakni

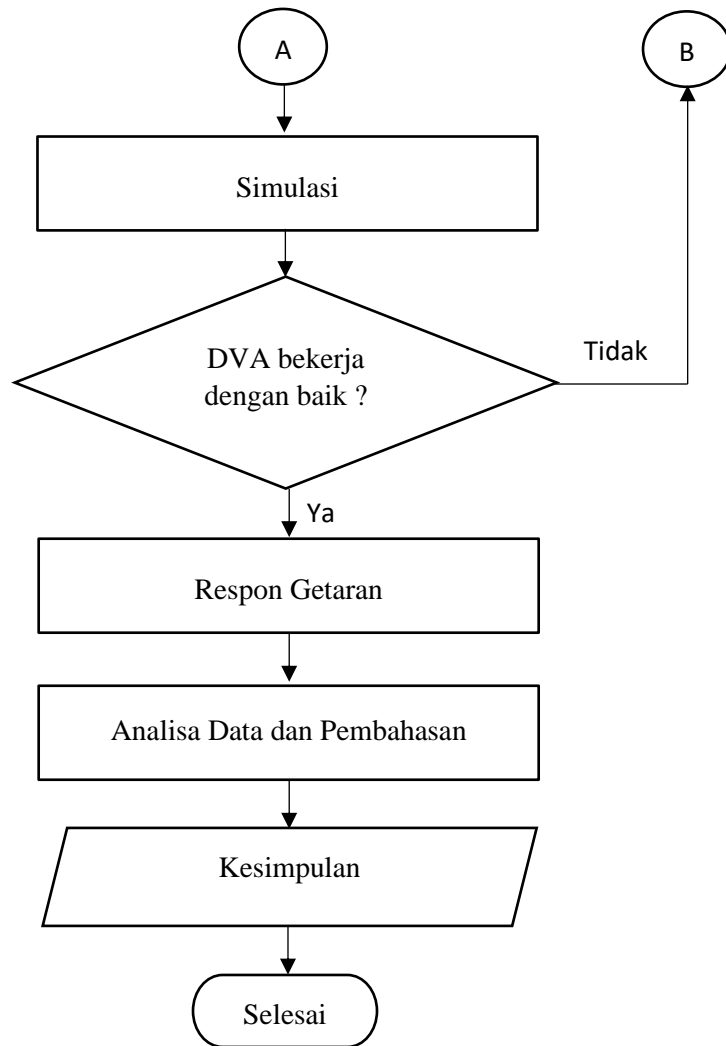
- Didapatkan nilai respon getaran dari boring bar tanpa DVA dan menggunakan DVA pada X-Axis memiliki nilai tertinggi pada variasi A9, dengan boring bar reguler, DoC 0.4 mm, memiliki nilai sebesar 0.8 m/s^2 . Untuk nilai terendahnya terdapat pada variasi A7, dengan boring dengan DVA 30 mm, DoC 0.3 mm, memiliki nilai sebesar 0.0767 m/s^2 . Dan untuk nilai boring bar tanpa DVA dan menggunakan DVA pada Y-Axis memiliki nilai terendah Variasi A2, dengan boring bar menggunakan DVA 40 mm, DoC 0.2 mm memiliki nilai sebesar 0.0725 m/s^2 . Untuk nilai tertingginya terdapat pada variasi A9, dengan boring bar reguler, DoC 0.4 mm, memiliki nilai sebesar 0.9007 m/s^2 .
- Didapatkan nilai paling Optimal Reduksi Respon getaran paling optimum pada X-Axis dilihat dari nilai tertinggi reduksi getaran sebesar 88% pada variasi A9 menggunakan boring bar dengan DVA 30 mm, variasi putaran spindle 720 RPM dan DoC 0.4 mm Sedangkan untuk nilai reduksi paling kecil memiliki nilai sebesar 11% pada variasi A6 dengan boring bar menggunakan DVA 40 mm, variasi putaran spindle 450 RPM dan variasi DoC 0.4 mm. Didapatkan nilai paling Optimal Reduksi Respon getaran paling optimum pada Y-Axis dilihat dari nilai tertinggi reduksi getaran sebesar 89% pada variasi A9 menggunakan boring bar dengan DVA 20 mm dan 30 mm, variasi putaran spindle 720 RPM dan DoC 0.4 mm dan Sedangkan untuk nilai reduksi yang kurang optimal dengan nilai paling kecil memiliki nilai sebesar 5% pada variasi A2 dengan boring bar menggunakan DVA 20 mm, variasi putaran spindle 320 RPM dan variasi DoC 0.3 mm.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 *Flowchart* Penelitian

Terdapat langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini yang ditunjukkan pada *flowchart* penelitian pada gambar 3.1 berikut:





Gambar 3.1 *Research Flowchart*

3.2 Penjelasan Tahap Penelitian

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

3.2.1 Studi Literatur

Sebelum penelitian ini dilakukan, perlu adanya studi literatur dan pencarian referensi penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian ini. Adapun materi pada literatur tersebut mengenai *multi degree of freedom vibration*, *dynamic vibration absorber (DVA)*, dan mesin bubut. Berbagai sumber tersebut diperoleh dari buku, tugas akhir dan jurnal internasional.

3.2.2 Identifikasi Masalah

Pada penelitian tugas akhir ini, masalah yang diidentifikasi dibagi menjadi dua bagian,

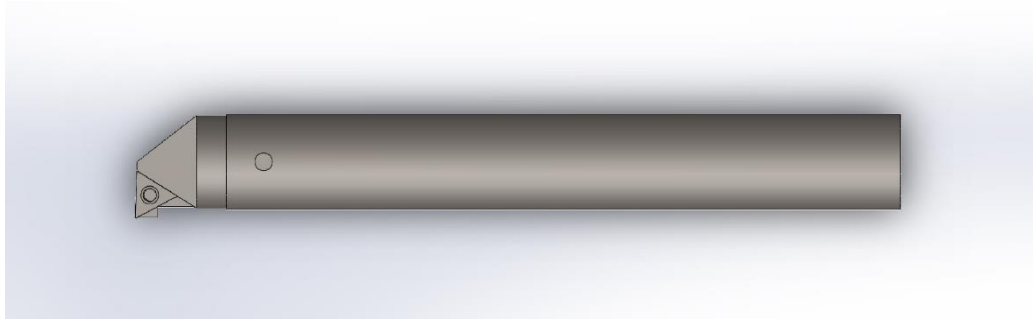
yaitu *input* dan *output*. *Input* merupakan suatu masukan yang diberikan pada penelitian ini, yaitu berupa jumlah, diameter, dan jenis karet DVA yang terpasang pada sistem. Sedangkan *output* merupakan hasil yang didapatkan dalam penelitian ini, yaitu berupa reduksi respon getaran sistem utama terhadap *boring bar*.

3.2.3 Perancangan Mekanisme Sistem Utama (Boring Bar) dan DVA

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

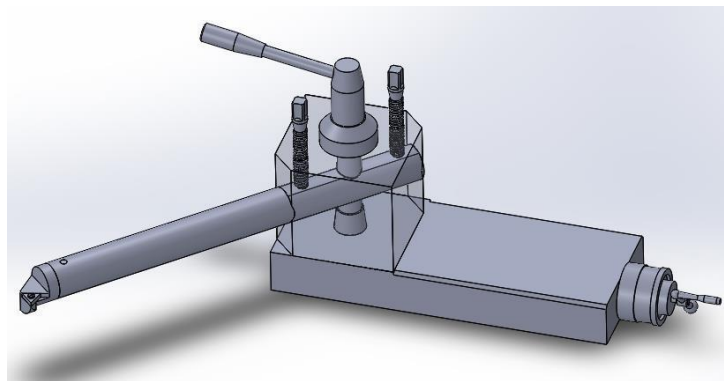
3.2.3.1 Perancangan Mekanisme Sistem Utama (*Boring Bar*)

Pada proses *boring* (pengeboran), terjadi kontak antara benda kerja dengan pahat. Pada penelitian ini pahat memiliki *L overhang* yang panjang dibanding dengan diameternya yaitu $L/D \text{ overhang} = 8$. Pada bagian pahat diberi *cavity* sebagai tempat peletakan DVA sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2 *Regular Body Boring Bar*

Setelah mengetahui rancangan mesin bubut, makadilakukan perancangan posisi peletakan boring bar pada mesinbubut seperti pada gambar 3.3 berikut.

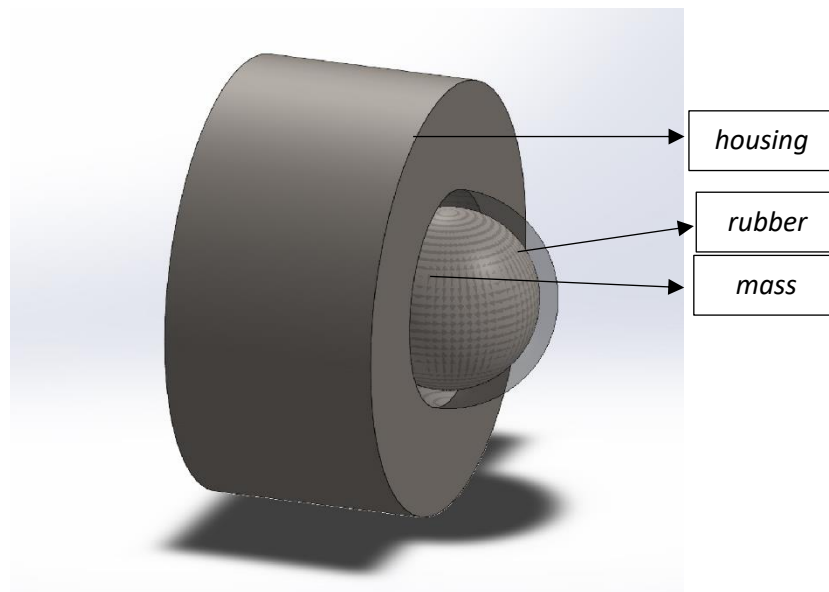


Gambar 3.3 *Boring Bar Laying Position*

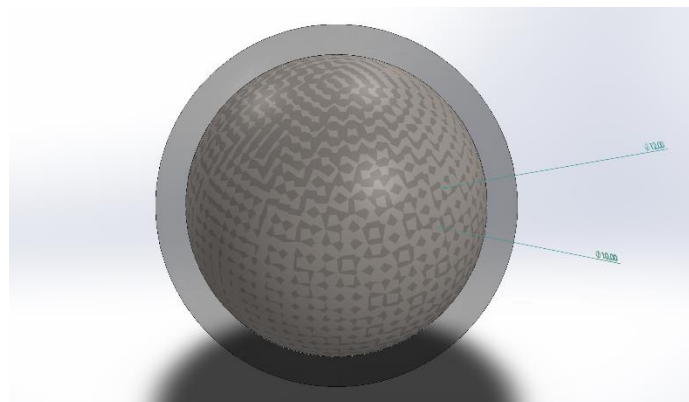
3.2.3.2 Perancangan Mekanisme DVA

Pada penelitian ini dirancang mekanisme *dynamic vibration absorber* untuk meredam getaran berlebih pada *boring bar*. DVA yang dipasang pada *boring bar* ialah massa *absorber* berbentuk *spherical* dengan dilapisi oleh karet sebagai kekakuan *absorber*, dengan

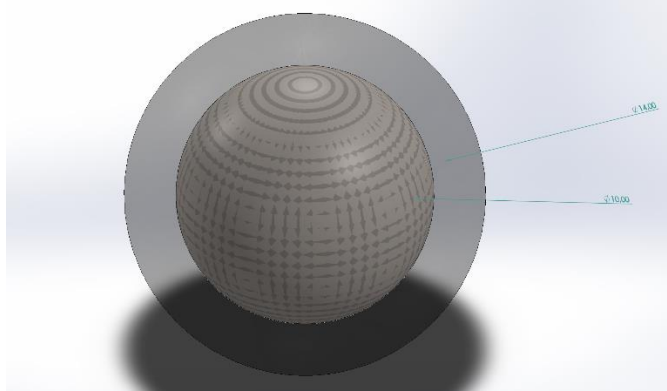
housing sebagai tempat peletakan massa *spherical* dan karet seperti pada gambar 3.4. Material massa *spherical* merupakan *stainless steel* dan kekakuan *absorber* terbuat dari karet. Karet sendiri terdiri atas 2 jenis bahan, yaitu *Natural Rubber* dan *Neoprene* dan 3 variasi diameter, yakni 12 mm, 14 mm, dan 16 mm. Housing memiliki 3 variasi diameter seperti diameter karet. Dengan pergerakan sistem utama yaitu arah radial yang berlawanan arah. Sistem DVA dipasang di dalam pahat yang telah diberi *cavity* pada bagian depan *boring bar*, dimana boring bar saat bekerja memotong benda kerja akan menerima gaya eksitasi dari gesekan benda kerja dan pisau pahat, sehingga gaya eksitasi terjadi secara kontinyu.



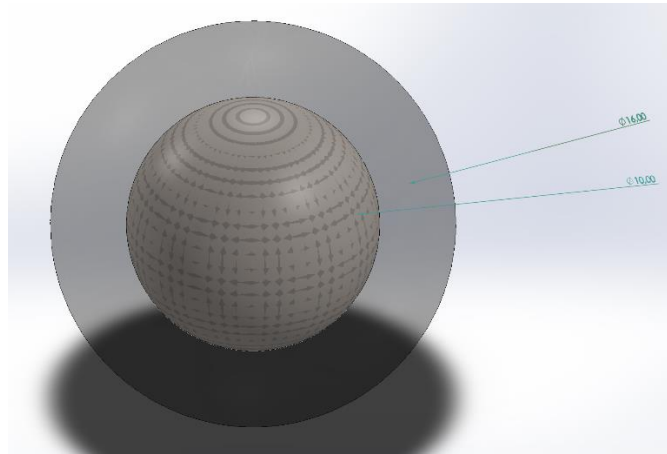
Gambar 3.4 *DVA Construction System*



Gambar 3.5 *DVA with 12 mm Rubber variations*

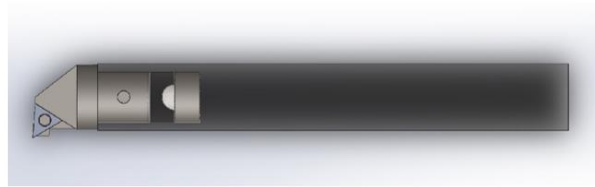


Gambar 3.6 *DVA with 14 mm Rubber variations*

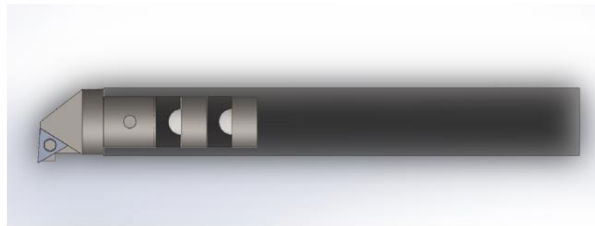


Gambar 3.7 *DVA with 16 mm Rubber Variations*

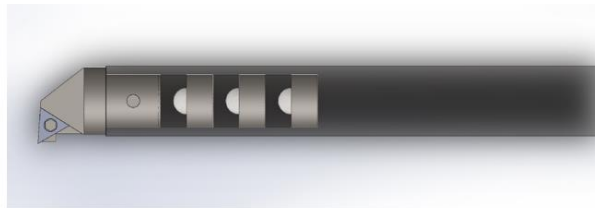
Setelah dilakukan perancangan DVA pada sistem utama, susunan sistem menjadi seperti pada gambar 3.8.



(a)



(b)



(c)

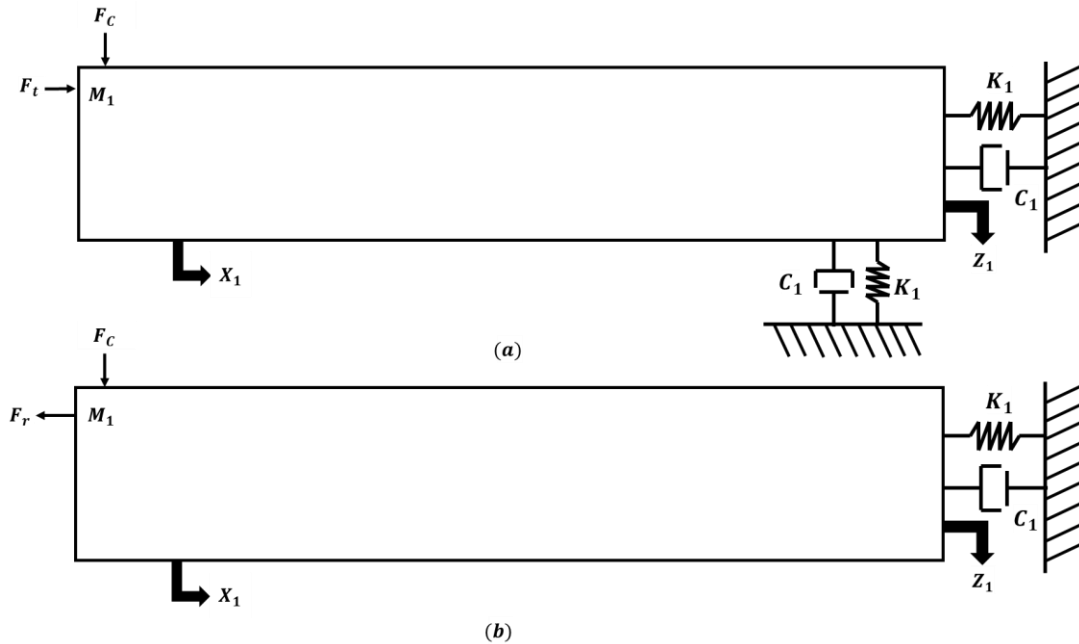
Gambar 3.8 *Main System Structure Boring Bar with the addition of three different amounts of DVA, (a) one DVA, (b) two DVA, (c) three DVA*

3.2.4 Pemodelan Sistem Dinamis

Pemodelan Sistem Dinamis Pemodelan yang disederhanakan untuk analisa model dinamis dari sistem utama tanpa DVA.

3.2.4.1 Sistem Utama Tanpa DVA

Pemodelan sistem dinamis saat sistem utama tanpa penambahan DVA. Saat proses bubut berlangsung, sistem utama mendapatkan gaya eksitasi (F_c) berupa gesekan antara mata pisau dan penampang benda kerja. Pada gambar 3.9 merupakan pemodelan sistem dinamis dari sistem utama tanpa penambahan DVA dengan arah gerak translasi ke arah sumbu x.

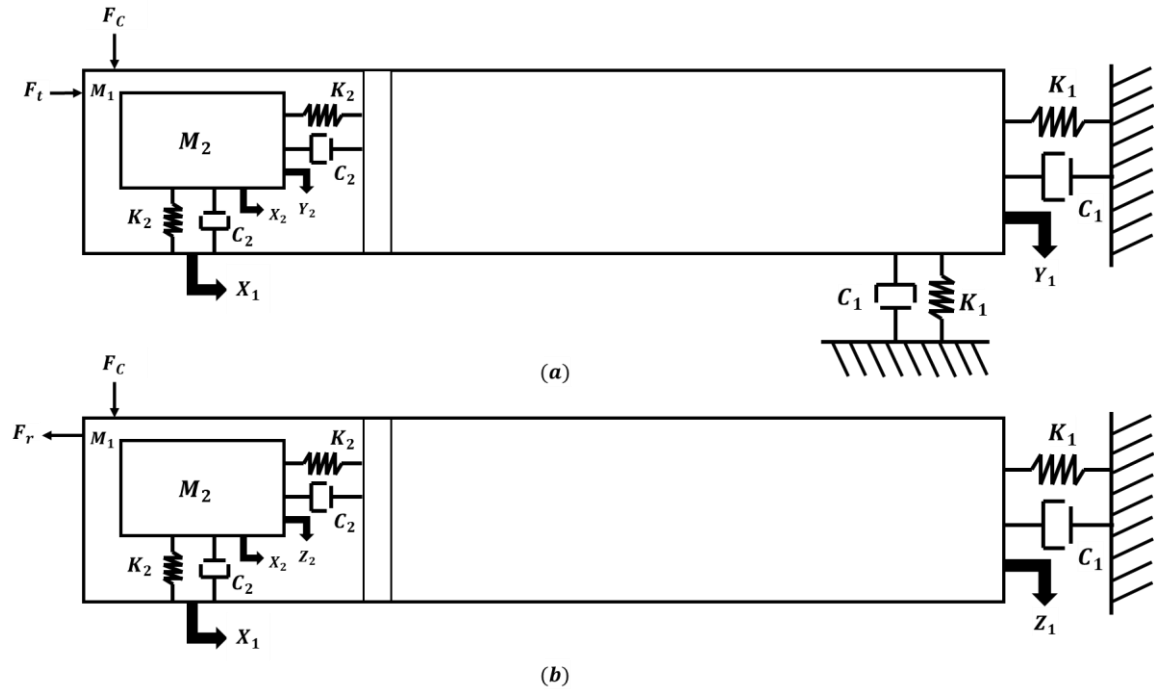


Gambar 3.9 Dynamic modeling of the main system without DVA (a) Side View, and (b) Top View

Keterangan :

- M : Massa sistem utama
- C : Konstanta redaman sistem utama
- K : Konstanta kekakuan sistem utama
- X1 : Perpindahan massa sistem utama
- Y1 : Perpindahan massa sistem utama
- Fc : Gaya eksitasi *cutting* pada sistem utama
- Ft : Gaya eksitasi *thrust* pada sistem utama
- Fr : Gaya eksitasi *radial* pada sistem utama

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

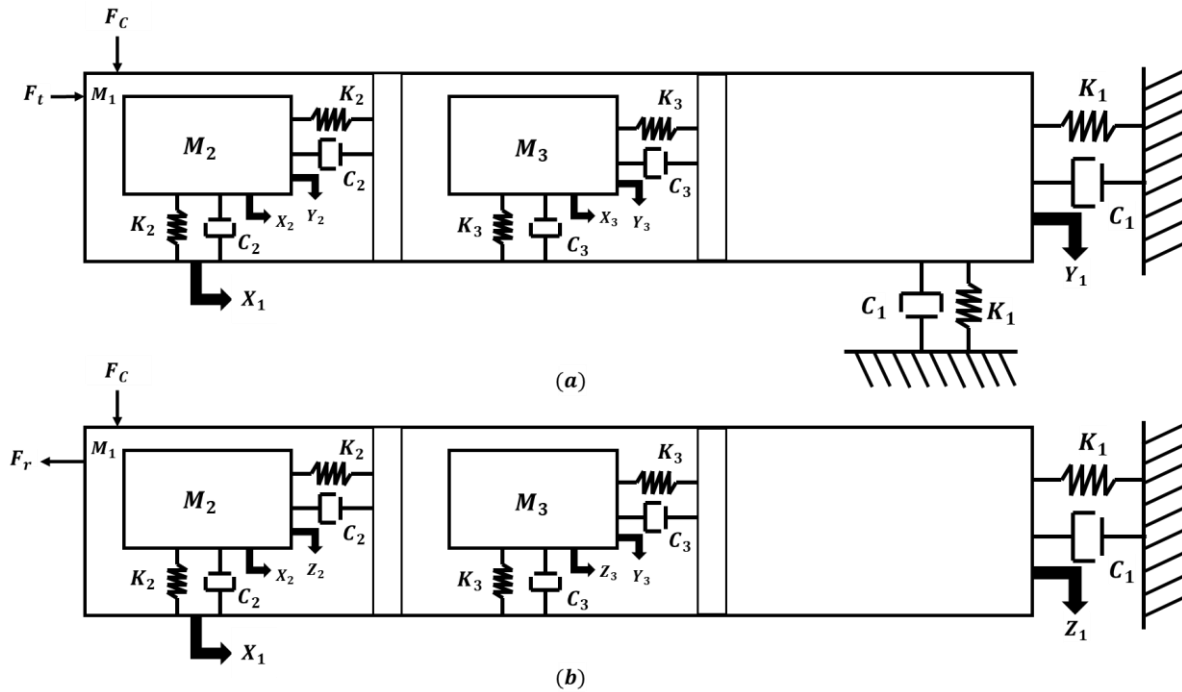


Gambar 3.10 Main System Dynamic Modeling with the addition of one DVA (a) Side View, and (b) Top View

Keterangan :

- M_1 : Massa sistem utama
- M_2 : Massa DVA
- C_1 : Konstanta redaman sistem utama
- C_2 : Konstanta redaman DVA
- K_1 : Konstanta kekakuan sistem utama
- K_2 : Konstanta kekakuan DVA
- X_1 : perpindahan massa sistem utama
- X_2 : perpindahan massa DVA
- Y_1 : perpindahan massa sistem utama
- Y_2 : perpindahan massa DVA
- Z_1 : perpindahan massa sistem utama
- Z_2 : perpindahan massa DVA
- F_c : Gaya eksitasi *cutting* pada sistem utama
- F_t : Gaya eksitasi *thrust* pada sistem utama
- F_r : Gaya eksitasi *radial* pada sistem utama

3.2.4.3 Pemodelan Sistem Dinamis pada Sistem Utama dengan Penambahan Dua Dynamic Vibration Absorber (DVA)



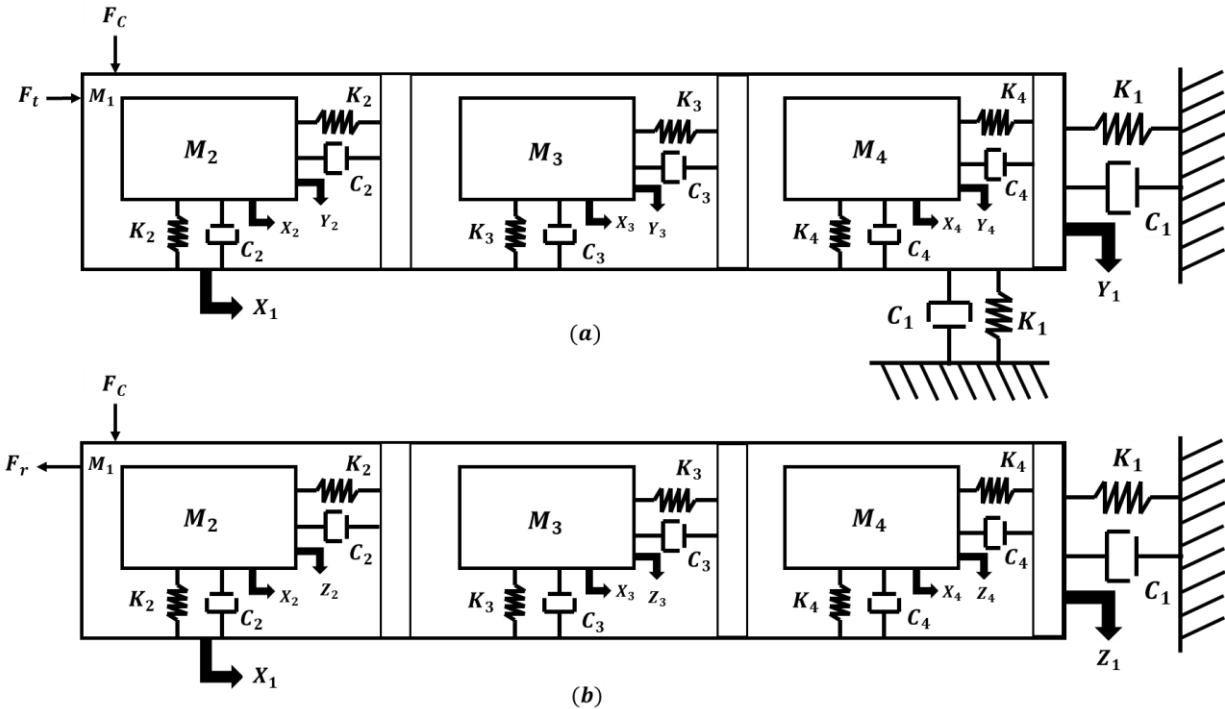
Gambar 3.11 Main System Dynamic Modeling with the addition of two DVA (a) Side View, and (b) Top View

Keterangan :

- M : Massa sistem utama
- M_2 : Massa DVA
- M_3 : Massa DVA kedua
- C : Konstanta redaman sistem utama
- C_2 : Konstanta redaman DVA
- C_3 : Konstanta redaman DVA kedua
- K : Konstanta kekakuan sistem utama
- K_2 : Konstanta kekakuan DVA
- K_3 : Konstanta kekakuan DVA kedua
- X_1 : perpindahan massa sistem utama
- X_2 : perpindahan massa DVA
- X_3 : perpindahan massa DVA kedua
- Y_1 : perpindahan massa sistem utama
- Y_2 : perpindahan massa DVA
- Y_3 : perpindahan massa DVA kedua
- Z_1 : perpindahan massa sistem utama
- Z_2 : perpindahan massa DVA

Z_3 : perpindahan massa DVA kedua
 F_c : Gaya eksitasi *cutting* pada sistem utama
 F_t : Gaya eksitasi *thrust* pada sistem utama
 F_r : Gaya eksitasi *radial* pada sistem utama

3.2.4.4 Pemodelan Sistem Dinamis pada Sistem Utama dengan Penambahan Tiga Dynamic Vibration Absorber (DVA)



Gambar 3.12 Main System Dynamic Modeling with the addition of three DVA (a) Side View, and (b) Top View

Keterangan :

M : Massa sistem utama
 M_2 : Massa DVA
 M_3 : Massa DVA kedua
 M_4 : Massa DVA ketiga
 C : Konstanta redaman sistem utama
 C_2 : Konstanta redaman DVA
 C_3 : Konstanta redaman DVA kedua
 C_4 : Konstanta redaman DVA ketiga
 K : Konstanta kekakuan sistem utama
 K_2 : Konstanta kekakuan DVA
 K_3 : Konstanta kekakuan DVA kedua
 K_4 : Konstanta kekakuan DVA ketiga
 X_1 : perpindahan massa sistem utama
 X_2 : perpindahan massa DVA

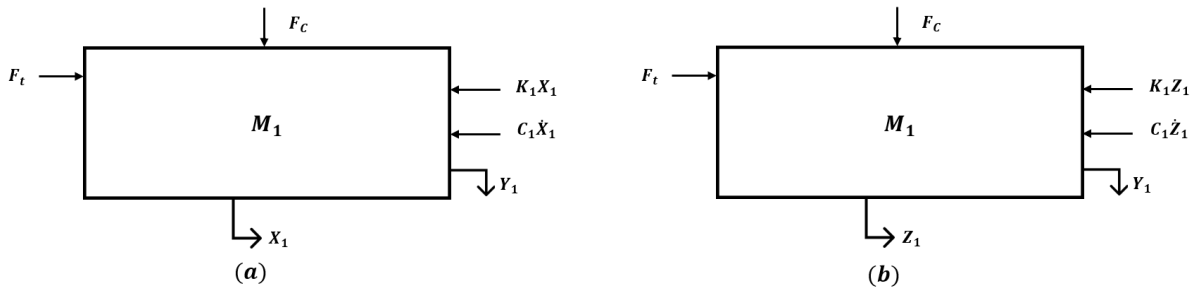
- X_3 : perpindahan massa DVA kedua
- X_4 : perpindahan massa DVA ketiga
- Y_1 : perpindahan massa sistem utama
- Y_2 : perpindahan massa DVA
- Y_3 : perpindahan massa DVA kedua
- Y_4 : perpindahan massa DVA ketiga
- Z_1 : perpindahan massa sistem utama
- Z_2 : perpindahan massa DVA
- Z_3 : perpindahan massa DVA kedua
- Z_4 : perpindahan massa DVA ketiga
- F_c : Gaya eksitasi *cutting* pada sistem utama
- F_t : Gaya eksitasi *thrust* pada sistem utama
- F_r : Gaya eksitasi *radial* pada sistem utama

3.2.5 Penurunan Persamaan Gerak

Berdasarkan model dinamis yang telah diketahui pada sub bab sebelumnya, maka didapatkan *free body diagram* (FBD) dari sistem utama tanpa penambahan DVA dan sistem utama dengan penambahan DVA. *Free body diagram* digunakan untuk menentukan persamaan gerak.

3.2.5.1 Sistem Utama tanpa Penambahan *Dynamic Vibration Absorber* (DVA)

Berdasarkan model dinamis yang telah dibuat sebelumnya, maka didapatkan *free body diagram* (FBD) dari massa yang ada ditunjukkan pada gambar 3.13.



Gambar 3.13 *Free Body Diagram Of Main System without DVA from (a) Side View and (b) Top View*

Berdasarkan *free body diagram* pada gambar 3.13 didapatkan persamaan gerak translasi pada *boring bar* dari tampak x dan tampak z sebagai berikut

$$+\rightarrow \Sigma F = M a \tag{3.1}$$

$$-C_1\dot{x}_1 - K_1x_1 + F_t = M_1\ddot{x}_1 \tag{3.2}$$

$$+\rightarrow \Sigma F = M a \tag{3.3}$$

$$-C_1\dot{z}_1 - K_1z_1 + F_t = M_1\ddot{z}_1 \tag{3.4}$$

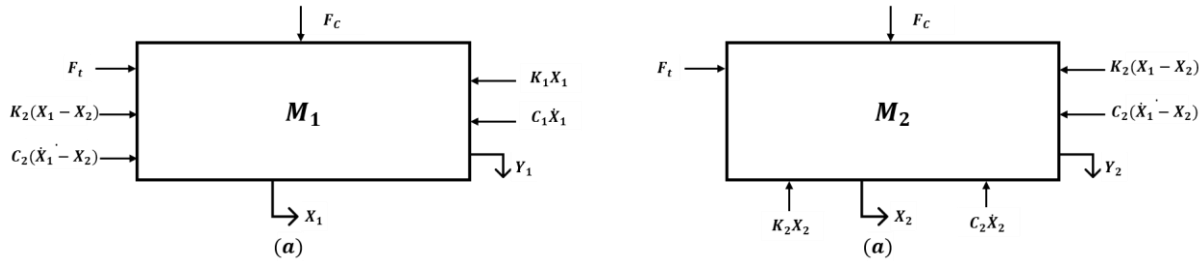
Dimana getaran diakibatkan oleh gaya tangensial/cutting force (F_c), gaya radial (F_r), dan

thrust force (F_t), maka gaya eksitasi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$F_m = F_c + F_r + F_t$$

3.2.5.2 Sistem Utama dengan penambahan satu DVA

Berdasarkan model dinamis yang telah diketahui, maka didapatkan *free body diagram* (FBD) dari sistem utama dengan penambahan DVA tinjau massa *boring* bar ditunjukkan pada gambar 3.14.



Gambar 3.14 *Free Body Diagram Of The Main System With The Addition Of DVA, (A) Main Mass And (B) Mass Of The First DVA*

Dari *free body diagram* pada gambar 3.14 didapatkan perhitungan persamaan sebagai berikut:

$$+\rightarrow \Sigma F = M a \quad (3.5)$$

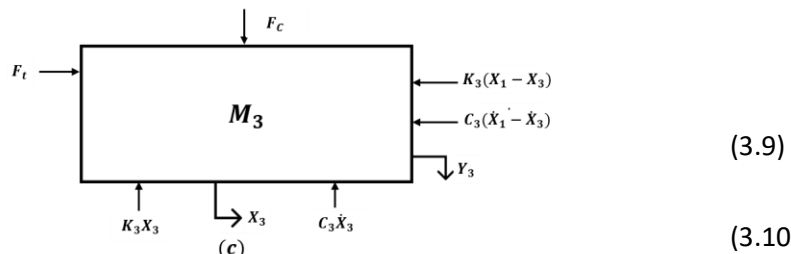
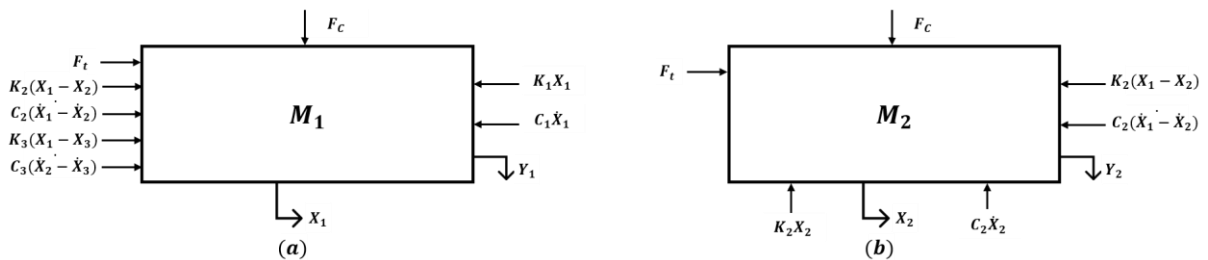
$$-C_1\dot{x}_1 - K_1x_1 + C_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + K_2(x_1 - x_2) + F_t = M_1\ddot{x}_1 \quad (3.6)$$

$$+\rightarrow \Sigma F = M a \quad (3.7)$$

$$-C_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - K_2(x_1 - x_2) + F_m = M_2\ddot{x}_2 \quad (3.8)$$

3.2.5.3 Sistem Utama dengan penambahan dua DVA

Berdasarkan model dinamis yang telah diketahui, maka didapatkan *free body diagram* (FBD) dari sistem utama dengan penambahan DVA tinjau massa *boring* bar ditunjukkan pada gambar 3.15.



Gambar 3.15 Free Body Diagram Of The Main System With The Addition Of DVA, (A) Main Mass And (B) Mass Of The First DVA and (c) Mass of the second DVA

Dari free body diagram pada gambar 3.15 didapatkan perhitungan persamaan sebagai berikut:

$$+\rightarrow \Sigma F = M a \quad (3.11)$$

$$-C_1\dot{x}_1 - K_1x_1 + C_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + K_2(X_1 - X_2) + C_3(\dot{x}_1 - \dot{x}_3) + K_3(X_1 - X_3) + F_t = M_1\ddot{x}_1 \quad (3.12)$$

$$+\rightarrow \Sigma F = M a \quad (3.13)$$

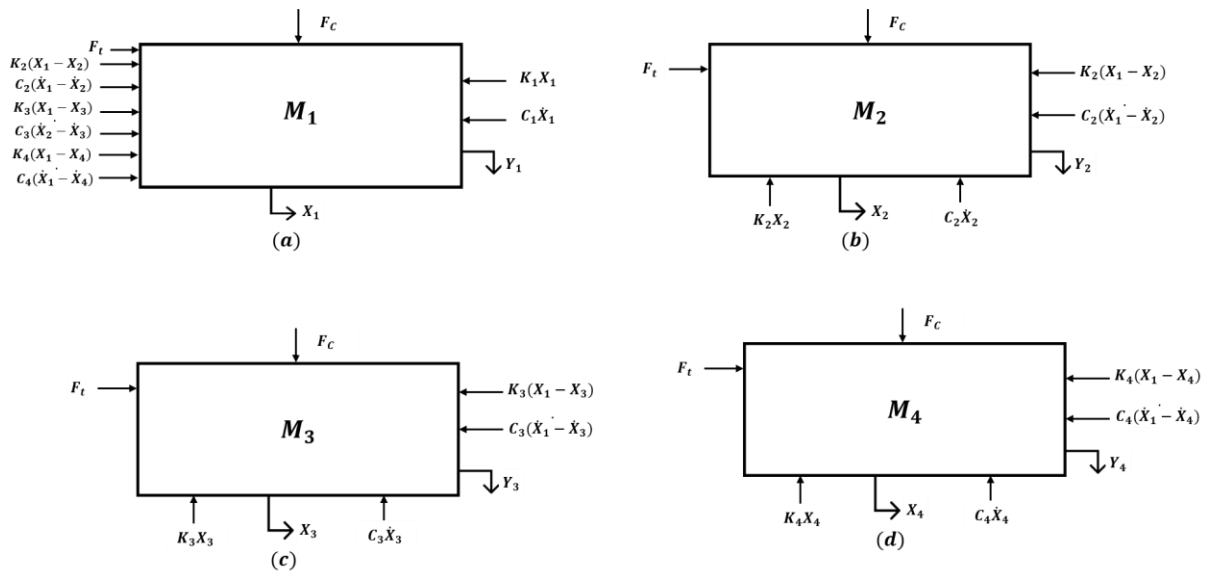
$$-C_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - K_2(X_1 - X_2) + F_m = M_2\ddot{x}_2 \quad (3.14)$$

$$+\rightarrow \Sigma F = M a \quad (3.15)$$

$$-C_3(\dot{x}_1 - \dot{x}_3) - K_3(X_1 - X_3) + F_m = M_3\ddot{x}_3 \quad (3.16)$$

3.2.5.4 Sistem Utama dengan penambahan tiga DVA

Berdasarkan model dinamis yang telah diketahui, maka didapatkan free body diagram (FBD) dari sistem utama dengan penambahan DVA tinjau massa boring bar ditunjukkan pada gambar 3.16.



Gambar 3.16 Free Body Diagram Of The Main System With The Addition Of DVA, (A) Main Mass And (B) Mass Of The First DVA, (c) Mass of the second DVA and (d) Mass of the third DVA

Dari free body diagram pada gambar 3.16 didapat perhitungan persamaan sebagai berikut :

$$+\rightarrow \Sigma F = M a \quad (3.19)$$

$$-C_1\dot{x}_1 - K_1x_1 + C_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + K_2(X_1 - X_2) + C_3(\dot{x}_1 - \dot{x}_3) + K_3(X_1 - X_3) + C_4(\dot{x}_1 - \dot{x}_4) + K_4(X_1 - X_4) + F_t = M_1\ddot{x}_1 \quad (3.20)$$

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

$$-C_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - K_2(X_1 - X_2) + F_m = M_2\ddot{x}_2 \quad (3.22)$$

$$+\rightarrow \Sigma F = M a \quad (3.23)$$

$$- C_3(\dot{X}_1 - \dot{X}_3) K_3(X_1 - X_3) + F_m = M_3\ddot{X}_3 \quad (3.24)$$

(3.27)

$$+\rightarrow \Sigma F = M a$$

$$C_4(\ddot{X}_3 - \ddot{X}_4) + K_4(X_3 - X_4) = M_4\ddot{X}_4 \quad (3.25)$$

$$(3.26)$$

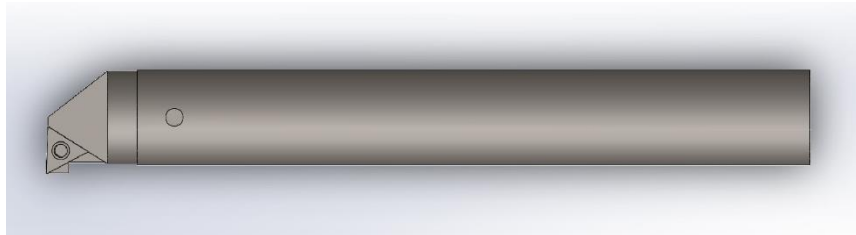
3.2.6 Perancangan Desain

Pada subbab ini akan dibahas mengenai komponen penyusun dari sistem massa utama dan *dynamic vibration absorber* (DVA) yang telah dirancang sebagai berikut: (3.28) (3.29)

3.2.6.1 Sistem Utama

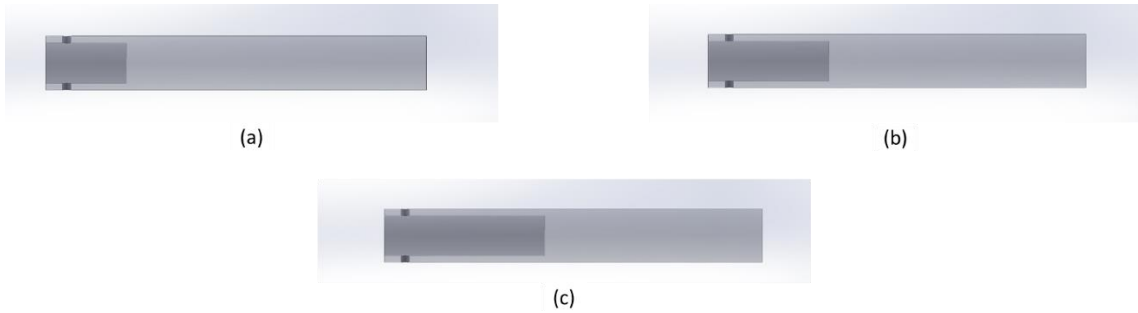
Sistem Utama *boring bar* pada penelitian terdiri dari *Body*, *head*, dan *insert*.

Body, bagian ini memiliki permasalahan utama dalam penelitian dikarenakan pada proses pembubutan di Indonesia, *body boring bar* menggunakan material *carbon steel* yang memiliki modulus *young* 190 GPA – 210 GPA yang hanya mampu digunakan pada rasio *L/D overhang* sama atau kurang dari 4. Pada penelitian ini akan menggunakan rasio *L/D overhang* 8, yang dimana dengan *overhang* 8 jarang ditemui menggunakan material *carbon steel* karena dibutuhkan material yang lebih kuat agar lebih stabil pada *overhang* tersebut tetapi dengan harga yang lebih mahal, maka dari itu dalam penelitian ini akan digunakan material AISI 1045, berikut merupakan *regular body boring bar* dengan rasio *L/D overhang* = 8.



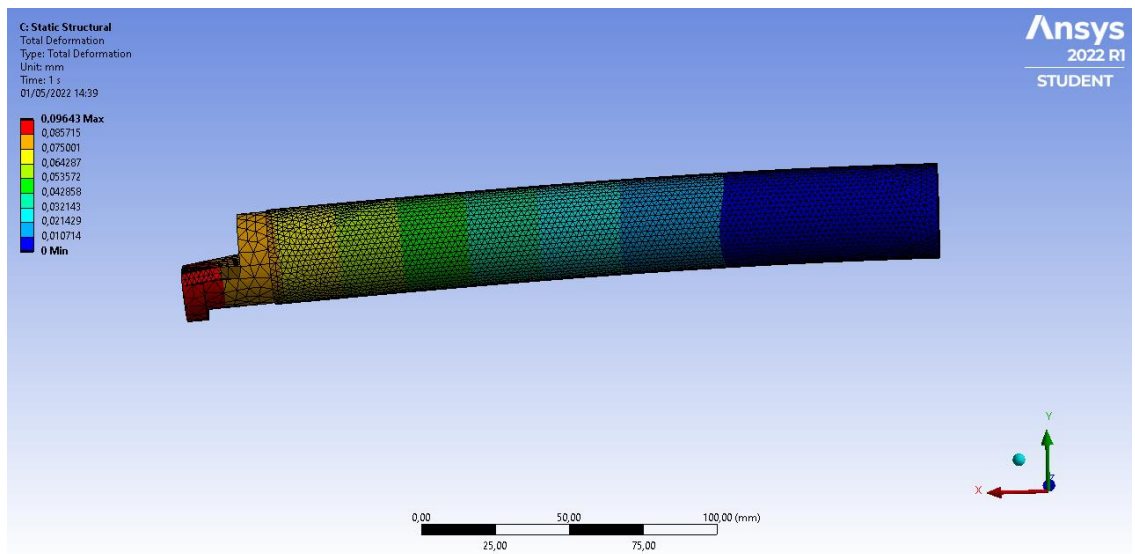
Gambar 3.17 *Regular Body Boring Bar*

Pada gambar 3.17 terlihat bahwa jarak antara ujung mata pisau dengan bagian badan adalah 3,5 mm, sedangkan untuk mendapatkan jarak reduksi getaran yang besar, maka dibutuhkan DVA, maka *regular body boring bar* akan dimodifikasi dengan memberi *cavity* pada *boring bar* sebagai tempat peletakan DVA. Pada desain akan diberikan *cavity* untuk DVA berdiameter 24 mm dengan panjang 48 mm untuk satu DVA, lalu diameter 24 mm dan panjang 72 mm untuk dua DVA, dan diameter 24 mm dan panjang 96 mm untuk tiga DVA, seperti yang terlihat pada gambar 3.18.

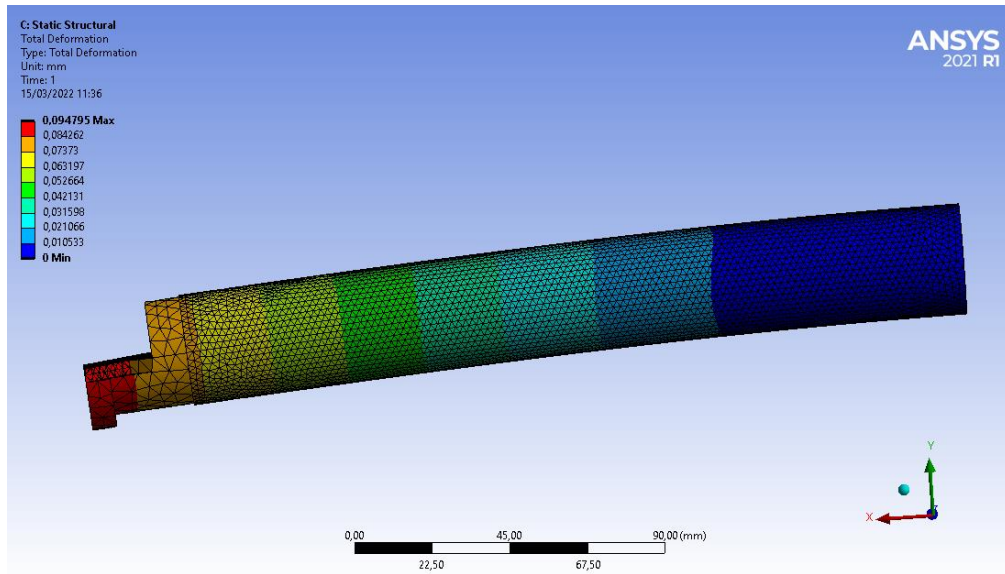


Gambar 3.18 Customized cavity pada boring bar for (a) one DVA, (b) two DVA, and (c) three DVA

Pada simulasi *software ansys* digunakan *ansys workbench* untuk mencari deformasi dari *boring bar regular* dan *customized boring bar*. Dengan memberikan gaya -117 N arah sumbu x, -170 N arah sumbu y, dan 65 N arah sumbu z dengan gaya resultan sebesar 216 N pada ujung insert dimana nilai tersebut diambil dari rata-rata gaya eksitasi pada pengeboran proses *finishing*, dan di bagian belakang diberikan *fixed support*.

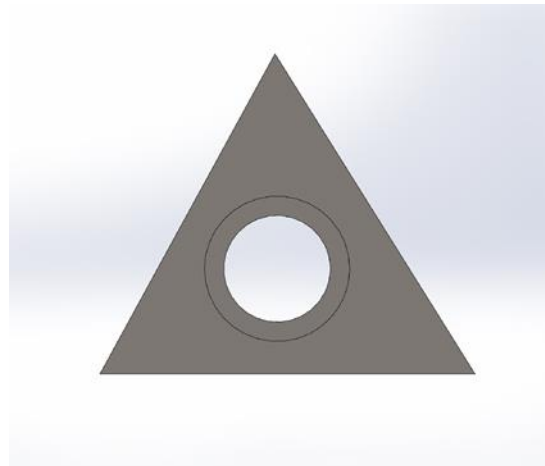


Gambar 3.19 Total Deformation Simulation of Regular Boring Bar



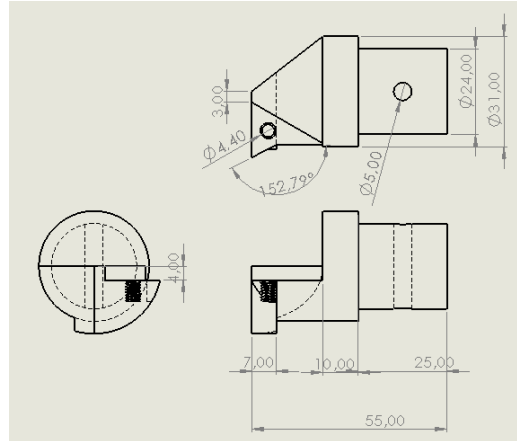
Gambar 3.20 Total Deformation Simulation of customized Boring Bar with 1 dva natural rubber

Dan dapat dilihat hasil dari gambar 3.19, *software ansys* memberikan hasil deformasi untuk *regular boring bar* sebesar 0,09613 mm, maka didapatkan kekakuan dari *boring bar regular* sebesar 2246 N/mm. sedangkan untuk gambar 3.20 pada *customized boring bar* dengan menggunakan dva *natural rubber* berdiameter 12 mm dengan variasi jumlah dva didapatkan deformasi total untuk jumlah 1 dva sebesar 0,094795 mm, maka didapatkan kekakuan untuk *customized boring bar* sebesar 2278 N/mm. Didapatkan penambahan nilai kekakuan sebesar 1,42 %.

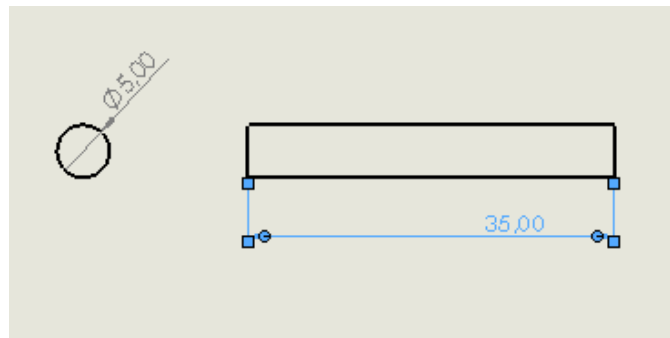


Gambar 3.21 Insert

Head, material kepala pahat yang digunakan untuk tempat menaruh *insert*. Material dari *head* ini ialah AISI 1045, *head* akan terpasang pada bagian depan *body boring bar* yang terkunci oleh *pin*, seperti yang tertera pada gambar 3.22 dan gambar 3.23 dibawah ini.



Gambar 3.22 *Head and Insert*

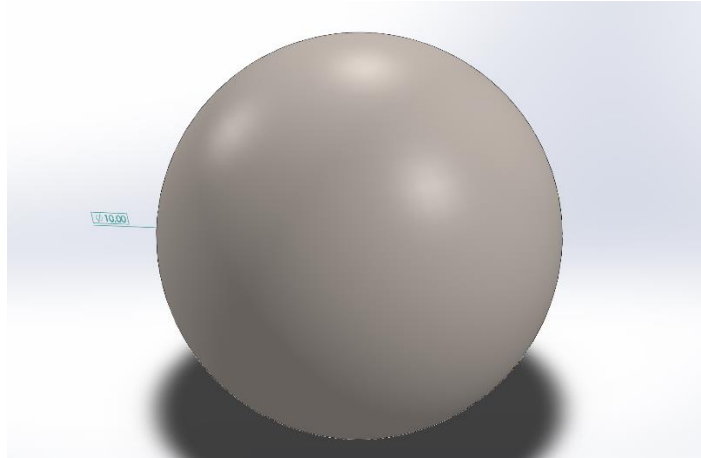


Gambar 3.23 *Pin*

3.2.6.2 DVA

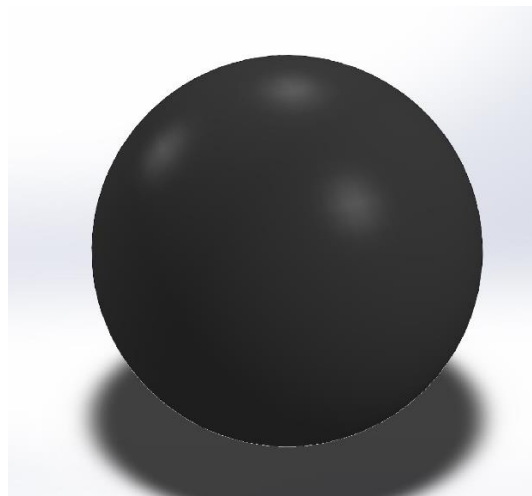
Pada penelitian ini digunakan *dynamic vibration absorber* sebagai media untuk meredam getaran berlebihan yang terjadi. *Dynamic vibration absorber* yang telah dirancang terdiri dari *mass spherical* dan *rubber*.

Mass Spherical, bagian ini terbuat dari stainless steel agar mendapatkan massa *absorber* yang mudah didapatkan pada industry di Indonesia dan dengan harga terjangkau. *Mass Spherical* ini memiliki diameter sebesar 10 mm yang berbentuk bola seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.23 berikut.



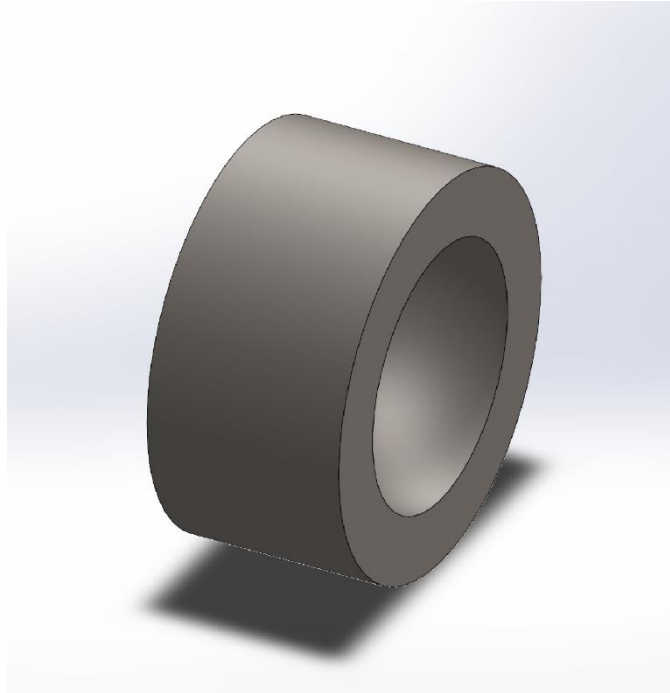
Gambar 3.24 *Mass Spherical*

Rubber, bagian ini merupakan karet yang menyelimuti *mass spherical*, karet yang digunakan pada penelitian terdapat 2 jenis, yakni *natural rubber* dan *neoprene*. Pada penelitian ini digunakan 3 macam diameter, yakni 12 mm, 14 mm, dan 16 mm. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.24.



Gambar 3. 25 *Rubber*

Housing, bagian ini digunakan sebagai penempatan DVA saat diletakkan di dalam *cavity* pada bagian depan *body*. Material yang digunakan untuk *housing* ini ialah AISI 1045, bentuk dari *housing* ini dapat dilihat dari gambar 3.25.



Gambar 3.26 *Housing*

3.2.7 Perencanaan Parameter

Pada proses pengeboran harus ditentukan penentuan parameter terkait penelitian. Parameter yang digunakan pada simulasi proses pengeboran untuk mengetahui respon dan reduksi getaran yang terjadi yakni *cutting parameter*, parameter pada sistem utama, dan parameter pada DVA.

3.2.7.1 Cutting Parameter

Pada proses permesinan dibutuhkan *cutting parameter* sesuai berdasarkan kebutuhan. Pada penelitian ini akan digunakan parameter proses *finishing*, putaran *spindle* dipilih dengan mempertimbangkan diameter dalam (S) benda kerja yang akan dipotong yakni 10 mm dan kemampuan putaran *spindle* yang ada pada mesin bubut yang ada di *workshop*, digunakan putaran *spindle* (N) pada putaran *high* yakni 320 rpm, 450 rpm dan 720 rpm. guna mendapatkan nilai *cuttingspeed* (V) yang besar, yang mana besaran nilai V berpengaruh pada *cutting time*.

$$V = \pi S N \quad (3.31)$$

Berdasarkan variasi putaran *spindle* dan diameter spesimen, didapatkan *cuttingspeed* (V) pada penelitian ini yakni 101 m/min, 141 m/min dan 226m/min.

Selain *cuttingspeed*, dibutuhkan parameter *feedrate* (f) yang mana pada penelitian ini pada 0,1 mm/rev. Semakin besar nilai *feedrate* maka akan mempengaruhi gaya pada permesinan (Fm), meningkatnya frekuensi *chatter* (ω_c) secara signifikan, dan *specific cutting force* (Kc). Kemudian ditentukan nilai *depth of cut* (d) pada penelitian ini yakni 0,25 mm. Semakin besar nilai *depth of cut* maka akan mempengaruhi besarnya gaya

pada permesinan dan meningkatnya frekuensi *chatter*. Frekuensi *chatter* didapatkan dengan memasukkan parameter (V), (f), dan (d) diatas pada persamaan yang didapatkan dari eksperimen yang dilakukan oleh peneliti terdahulu, sebagaimana pada persamaan (3.32) 3.32 berikut.

$$(\omega_c) = 17.0 - 0.566 v + 3971 f + 155 d$$

Dimana:

V = *Cuttingspeed* (m/min)

F = *Feedrate* (mm/rev)

d = *Depth of cut* (mm)

ω_c = *Chatter frequency* (Hz)

Gaya yang dianalisa merupakan gaya pada proses permesinan (F_m) yakni terdiri atas *cutting force* (F_c), *radial force* (F_r), dan *thrust force* (F_t), yang mana nilai *cutting force* didapat dari perhitungan sedangkan *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 cutting force* (K_c) dengan *feedrate* (f) dan *depth of cut* (d), yang mana nilai $K_c(f)$ didapat dari technical data ISO 13399 standard yakni pada $f = 0,1$ mm/rev, $K_c = 4050$ Mpa.

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

Tabel 3.1 Cutting Parameter

D (m)	f (mm/re v)	d (mm)	Putaran Spindle (rpm)	Kecepatan potong (m/min)	ω_c (Hz)	MRR (cm ² /min)
0,1	0,1	0,25	720	226	325	5,65
			450	141	373	3,53
			320	101	396	2,51

3.2.7.2 Gaya Eksitasi

Gaya eksitasi yang dianalisa merupakan resultan gaya pada proses permesinan, yakni terdiri dari *cutting force* (F_c), *radial force* (F_r) dan *thrust force* (F_t). 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*). Parameter nilai *cutting force* didapatkan dari hasil perhitungan pada persamaan 3.38, dimana *specific cutting force* (K_c) didapatkan dari technical data ISO 13399 standard yakni pada $f = 0,1$ mm/rev, $K_c 4050$ Mpa. Sedangkan *radial force* dan *thrust force* didapatkan dari hasil pendekatan dengan perkalian antara *cutting force* dan *correction factor*.

$$F_c = K_c d f$$

(3.32)

Berikut adalah tabel dari gaya eksitasi yang digunakan pada penelitian ini :

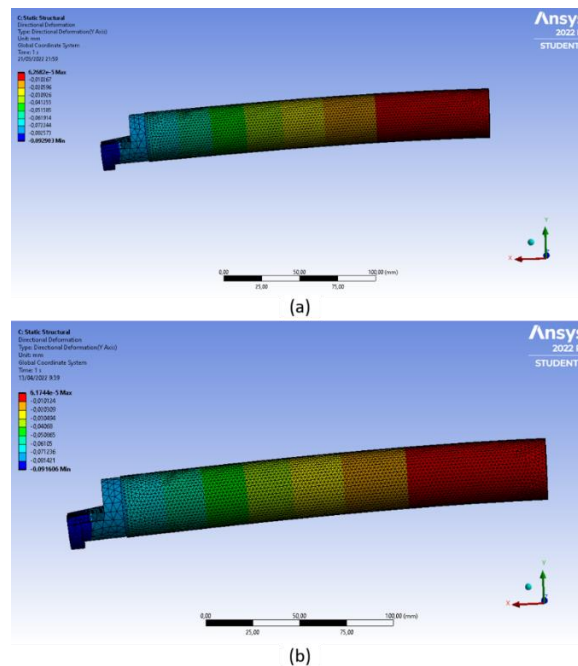
Tabel 3.2 Cutting Force

Gaya Eksitasi	Simbol	Nilai (N)
<i>Cutting</i>	F_c	-101,25
<i>Radial</i>	F_r	-69,8625
<i>Thrust</i>	F_t	-38,475
Resultan	F_o	128,89

3.2.7.3 Boring Bar

Adapun parameter yang akan dianalisa pada penelitian ini merupakan parameter dari *regular boring bar* dan *customized boring bar* diantaranya sebagai berikut:

- Konstanta kekakuan ekuivalen *boring bar* (K_{IR} dan K_{IC})
 Nilai konstanta kekakuan *ekuivalent boring bar* pada bagian tepi *insert* dihitung dengan menggunakan simulasi *static structural* pada *software ansys* dengan menaruh *fixed support* pada bagian penampang belakang dan gaya terpusat pada bagian *edge nose insert* sebesar 150 N kearah y sebagai mana pada gambar 3.25

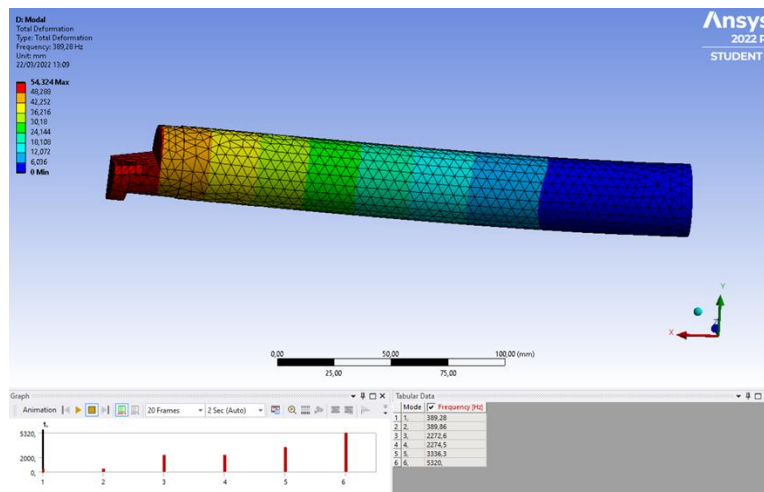


Gambar 3.27 Simulation of y-axis static deflection (a) regular boring bar and (b) customized boring bar (1 dva 12 mm natural rubber)

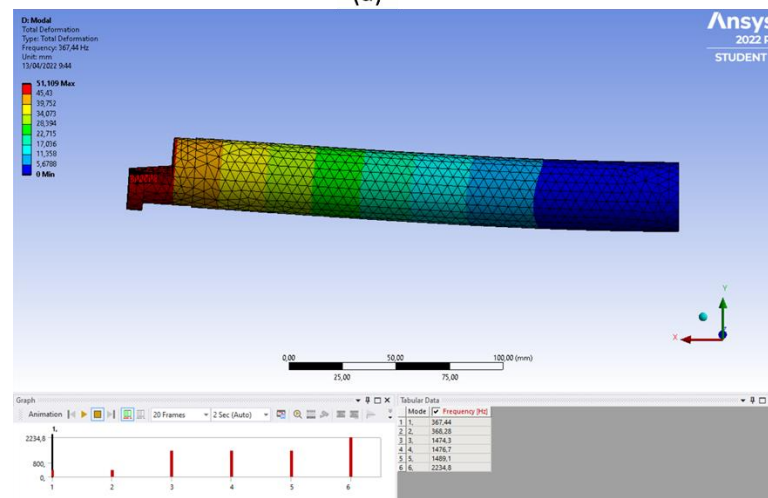
Regular boring bar memiliki deformasi sebesar 0,092903 mm dan *customized boring bar* sebesar 0,091606 mm. Didapat nilai kekakuan *regular boring bar* (K_{1R}) = 1614587 N/m dan kekakuan sistem utama yakni *customized boring bar* (K_{1C}) = 1637447 N/m

- Massa ekuivalen *boring bar* (M_{1R} dan M_{1C})

Massa dari sistem utama yang digunakan pada penelitian ini merupakan massa ekuivalen yang mana massa tersebut merepresentasikan gerak massa pada titik yang ditinjau yakni pada bagian tepi *insert*. Untuk mendapatkan nilai massa ekuivalen sistem utama digunakan simulasi *modal* pada software *ansys*. Didapat frekuensi natural pada *regular boring bar* adalah 389 Hz pada sumbu-y. Pada *customized boring bar* adalah 368 Hz pada sumbu-y. Seperti ditunjukkan pada gambar 3.17. Massa ekuivalen didapat dengan persamaan dimana frekuensi natural *regular boring bar* (ω_{n1R}) sumbu-y yakni 389 Hz setara dengan 2444 rad/s dan frekuensi natural *customized boring bar* (ω_{n1C}) sumbu-y yakni 367 Hz setara dengan 2306 rad/s, sehingga:



(a)



(b)

Gambar 3.28 Simulation of natural frequency modal analysis (a) regular boring bar and (b) customized boring bar

Berikut perhitungan untuk massa ekuivalen yang dimiliki oleh regular boring bar dan customized boring bar (1 dva 12 mm *natural rubber*)

- Massa ekuivalen *regular boring bar* (M_{1R}):

$$M_{1R} = \frac{K_{1R}(\text{sumbu} - y)}{\omega_{n1R}(\text{sumbu} - y)^2}$$

$$M_{1R} = \frac{1614587 \text{ N/m}}{(2444 \text{ rad/s})^2}$$

$$M_{1R} = 0,270 \text{ kg}$$

- Massa ekuivalen sistem utama *customized boring bar* (M_{1C}):

$$M_{1C} = \frac{K_{1C}(\text{sumbu} - y)}{\omega_{n1C}(\text{sumbu} - y)^2}$$

$$M_{1C} = \frac{1637447 \text{ N/m}}{(2306 \text{ rad/s})^2}$$

$$M_{1C} = 0,308 \text{ kg}$$

- Konstanta redaman *boring bar* (C_{1R} dan C_{1C})

Pada penelitian ini didapatkan nilai konstanta redaman *boring bar* dari damping rasio (ζ_1) yang didapat dari penelitian terdahulu, yang mana memiliki nilai 0,005 pada material steel. Dengan demikian didapatkan nilai konstanta redaman *regular boring bar* dan sistem utama yakni *customized boring bar* sebagai berikut.

- Konstanta redaman *regular boring bar* (C_{1R}):

$$C_{1R} = 2 \zeta_1 \sqrt{M_{1R} K_{1R}}$$

$$C_{1R} = 2 \cdot 0,005 \cdot \sqrt{0,270 \text{ kg} \cdot 1614587 \text{ N/m}}$$

$$C_{1R} = 6,60 \text{ N.s/m}$$

- Konstanta redaman sistem utama *customized boring bar* (C_{1C}):

$$C_{1C} = 2 \zeta_1 \sqrt{M_{1C} K_{1C}}$$

$$C_{1C} = 2 \cdot 0,005 \cdot \sqrt{0,308 \text{ kg} \cdot 1637447 \text{ N/m}}$$

$$C_{1C} = 7,101 \text{ N.s/m}$$

Berikut tabel 3.3 merupakan tabel boring bar dan table 3.4 merupakan table parameter ekuivalen penelitian untuk boring bar.

Tabel 3. 3 Stiffness (K) and Mass (M) of Regular and Customized Boring Bar

No	Parameter	K (N/m)	M (Kg)	C (N.s/m)	ω_n (Hz)	ω_n (rad/s)	ζ_1
1	<i>Regular Boring Bar</i>	1614587	1,5248	15,69	389	2444	0,005
2	<i>Boring Bar Cavity 24 mm</i>	1560435	1,4444	15,01	407	2557	0,005
3	<i>Boring Bar cavity 48 mm</i>	1532081	1,3596	14,43	1073,9	422	0,005
4	<i>Boring Bar Cavity 72 mm</i>	1491795	1,2751	13,79	1207,6	429	0,005

Tabel 3. 4 Bar Boring Research Parameters

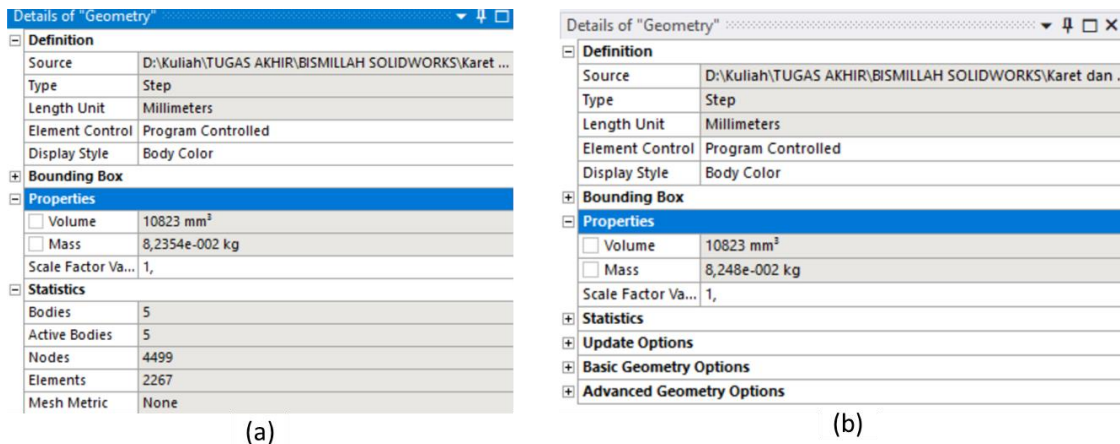
No	Parameter	K_{eq} (N/m)	M_{eq} (Kg)	C_{eq} (N.s/m)	$\omega_{n\ eq}$ (Hz)	$\omega_{n\ eq}$ (rad/s)	ζ_i
1	<i>Regular Boring bar</i>	1614587	0,270	6,606	389	2444	0,005
2	<i>1 DVA Natural Rubber 12 mm</i>	1637447	0,308	7,101	367	2306	0,005
3	<i>2 DVA Natural Rubber 12 mm</i>	1634592	0,323	7,267	358	2249	0,005
4	<i>3 DVA Natural Rubber 12 mm</i>	1634610	0,334	7,391	352	2212	0,005
5	<i>1 DVA Natural Rubber 14 mm</i>	1632831	0,302	7,024	370	2325	0,005
6	<i>2 DVA Natural Rubber 14 mm</i>	1636447	0,322	7,255	359	2256	0,005
7	<i>3 DVA Natural Rubber 14 mm</i>	1630896	0,332	7,353	353	2218	0,005
8	<i>1 DVA Natural Rubber 16 mm</i>	1635537	0,301	7,016	371	2331	0,005
9	<i>2 DVA Natural Rubber 16 mm</i>	1631765	0,317	7,194	361	2268	0,005
10	<i>3 DVA Natural Rubber 16 mm</i>	1636447	0,329	7,337	355	2231	0,005
11	<i>1 DVA Neoprene Rubber 12 mm</i>	1616153	0,299	6,952	370	2325	0,005
12	<i>2 DVA Neoprene Rubber 12 mm</i>	1616153	0,318	7,165	359	2256	0,005
13	<i>3 DVA Neoprene Rubber 12 mm</i>	1616153	0,329	7,287	353	2218	0,005
14	<i>1 DVA Neoprene Rubber 14 mm</i>	1616135	0,299	6,952	370	2325	0,005
15	<i>2 DVA Neoprene Rubber 14 mm</i>	1616135	0,316	7,145	360	2262	0,005
16	<i>3 DVA Neoprene Rubber 14 mm</i>	1616135	0,329	7,287	353	2218	0,005
17	<i>1 DVA Neoprene Rubber 16 mm</i>	1616153	0,297	6,933	371	2331	0,005
18	<i>2 DVA Neoprene Rubber 16 mm</i>	1616153	0,312	7,105	362	2275	0,005
19	<i>3 DVA Neoprene Rubber 16 mm</i>	1616153	0,323	7,225	356	2237	0,005

3.2.7.4 DVA

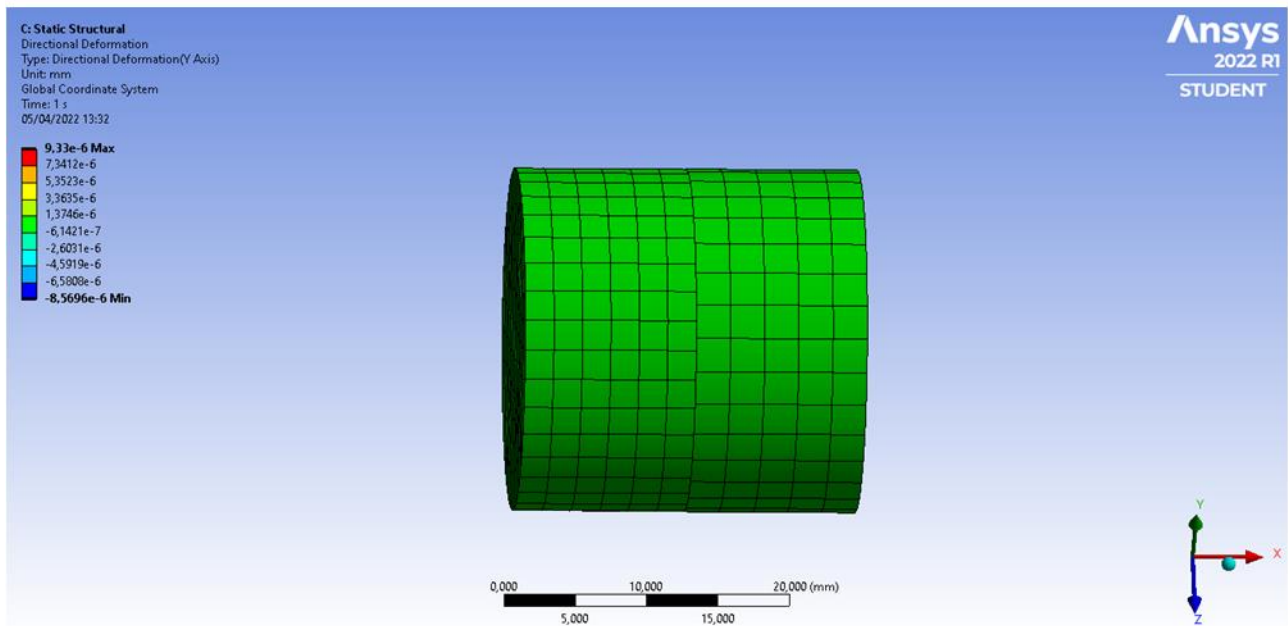
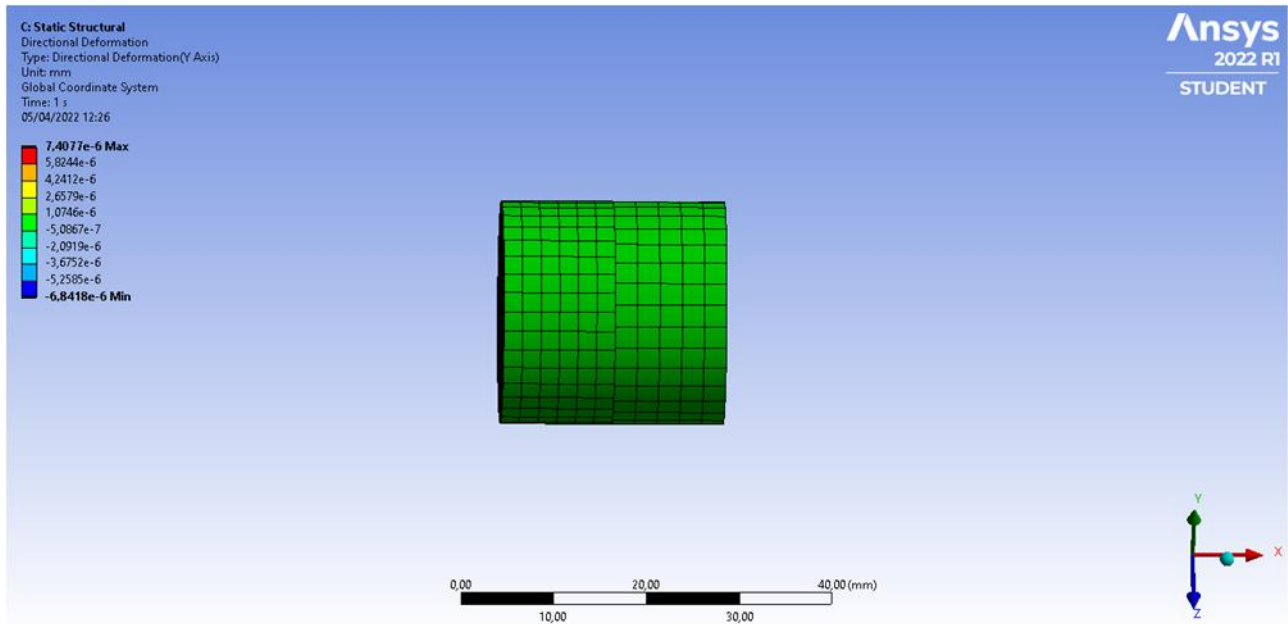
Adapun parameter dari komponen DVA yang dibutuhkan dalam penelitian ini diantara lain sebagai berikut:

- Konstanta kekakuan ekuivalen DVA ($K_{2\text{ neo}}$ dan $K_{2\text{ nat}}$)

Guna mendapatkan nilai dari kekakuan DVA, dimensi dan material dari karet dirancang sedemikian rupa agar DVA memiliki frekuensi natural yang sama dengan frekuensi gaya eksitasi yakni pada rentang 300 Hz – 1400 Hz. Konstanta kekakuan DVA didapat simulasi pada software ansys static structural dengan memberikan tumpuan karet *fixed support* dan standard earth gravity pada DVA. Digunakan contoh 1 dva berdiameter 12 mm dengan beban berat standard earth gravity, dengan massa *natural rubber* = 0,08235 Kg dan massa *neoprene rubber* = 0,08248 , dimana massa *mass ring* didapat melalui menu *properties* pada software ansys pada gambar 3.27. Diperoleh deformasi statis pada arah sumbu y sebesar 0,0000068418 mm pada material *natural rubber* 12 mm (1 dva) dan 0,0000085696 mm pada material *neoprene rubber* 12 mm (1 dva) pada gambar 3.28.



Gambar 3.29 Mass of DVA (a) Natural Rubber and (b) Neoprene Rubber

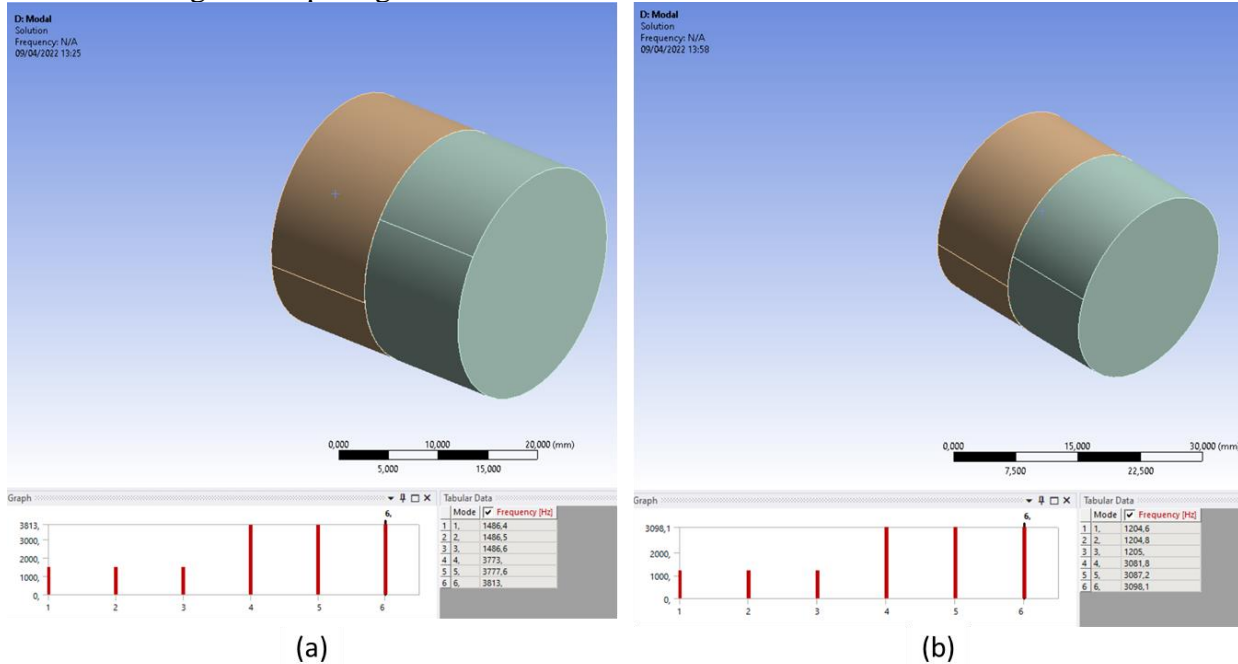


Gambar 3. 30 Static deformation (a) Natural Rubber 1 dva 12 mm and (b) Neoprene Rubber 1 dva 12 mm

- Massa ekuivalen DVA ($M_{2\text{ neo}}$ dan $M_{2\text{ nat}}$)

Sama halnya pada penentuan massa ekuivalen pada *boring bar*, massa ekuivalen pada DVA didapat dengan mengolah data konstanta kekakuan ekuivalen dengan frekuensi natural DVA yang mana diperoleh dari simulasi *software ansys modal*. Berikut merupakan hasil

simulasi frekuensi natural pada DVA dengan 2 karet pada material *neoprene rubber* dan *natural rubber* sebagaimana pada gambar 3.29 berikut.



Gambar 3.31 *Frequency Natural (a) Natural Rubber 1 dva 12 mm and (b) Neoprene Rubber 1 dva 12 mm*

Dapat dilihat bahwa dengan menggunakan karet material *natural rubber* memiliki frekuensi natural DVA 1486,4 Hz yang setara dengan 9339 rad/s sedangkan menggunakan karet material *neoprene rubber* memiliki frekuensi natural 1204,8 Hz setara dengan 7569 rad/s. Dimana nilai konstanta kekakuan karet *neoprene rubber* adalahN/m dan material *natural rubber* adalah N/m, maka didapat nilai massa equivalent pada permukaan luar karet adalah:

- Massa ekuivalen DVA dengan *natural rubber*:

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

$$0,08235 = \dots \text{N/m} / (9339 \text{ rad/s})^2$$

$$K_{2\text{ nat}} = 7182313 \text{ N/m}$$

- Massa ekuivalen DVA dengan *neoprene rubber*:

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

$$0,08248 = \dots \text{N/m} / (7569 \text{ rad/s})^2$$

$$K_{2\text{ neo}} = 4725259 \text{ N/m}$$

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

Sama halnya pada konstanta redaman pada sistem utama, konstanta redaman pada DVA didapatkan dari damping rasio (ζ_r) yang didapat dari penelitian terdahulu, yang mana memiliki nilai beragam antara 0,02 hingga 0,2, namun pada penelitian ini digunakan damping rasio 0,02 pada material *rubber*. Dengan demikian didapatkan nilai konstanta redaman DVA dengan *neoprene rubber* dan DVA dengan *natural rubber* sebagai berikut.

- Konstanta redaman DVA dengan *natural rubber* ($C_{2\text{ nat}}$):

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

$$C_{2\text{ nat}} = 2 \cdot 0,02 \cdot \sqrt{0,08235 \text{ kg } 7198012 \text{ N/m}}$$

$$C_{2\text{ nat}} = 30,76 \text{ N.s/m}$$

- Konstanta redaman DVA dengan *neoprene rubber* ($C_{2\text{ neo}}$):

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

$$C_{2\text{ neo}} = 2 \cdot 0,02 \cdot \sqrt{0,08248 \text{ kg } 4725259 \text{ N/m}}$$

$$C_{2\text{ neo}} = 24,97 \text{ N.s/m}$$

Berikut tabel 3.5 merupakan tabel DVA yang digunakan, lalu table 3.6 merupakan table saat bola dan karet sudah tergabung dan table 3.7 merupakan table parameter DVA ekuivalen (setelah ditambahkan *housing*) yang digunakan.

Tabel 3. 5 Stiffness (*K*) and Mass (*M*) for each Ball and Rubber (*Natural Rubber and Neoprene*)

No	Parameter	K (N/m)	M (Kg)	C (N.s/m)	ω_n (Hz)	ω_n (rad/s)	ζ_1
1	<i>BOLA</i>	5,87801E-09	0,08235	8,80049E-07	0,000042521	0,000267	0,02
2	<i>NatRub 12 mm</i>	48964302	0,16471	113,60	2744,1	17242	0,02
3	<i>NatRub 14 mm</i>	53914350	0,24706	145,99	2351,1	14772	0,02
4	<i>NatRub 16 mm</i>	13178497	0,078732	40,74	2059,1	12938	0,02
5	<i>Neo 12 mm</i>	23186194	0,15746	76,43	1931,3	12135	0,02
6	<i>Neo 14 mm</i>	25534694	0,2362	98,23	1654,8	10397	0,02
7	<i>Neo 16 mm</i>	6129007	0,073922	26,92	1449,2	9106	0,02

Tabel 3. 6 Stiffness (*K*) and Mass (*M*) for Ball and Rubber Combined (Constructed)

No	Parameter	K (N/m)	M (Kg)	C (N.s/m)	ω_n (Hz)	ω_n (rad/s)	ζ_1
1	<i>1 DVA Natural Rubber 12 mm</i>	7207966	0,08235	30,82	1489	9356	0,02
2	<i>1 DVA Natural Rubber 14 mm</i>	9208176	0,16471	49,26	1190	7477	0,02
3	<i>1 DVA Natural Rubber 16 mm</i>	11248377	0,24706	66,68	1073,9	6748	0,02
4	<i>1 DVA Neoprene 12 mm</i>	4532703	0,078732	23,90	1207,6	7588	0,02
5	<i>1 DVA Neoprene 14 mm</i>	5721399	0,15746	37,97	959,37	6028	0,02
6	<i>1 DVA Neoprene 16 mm</i>	6893737	0,2362	51,04	859,82	5402	0,02

Table 3. 7 Research Parameter of DVA after inserted to Housing (Equivalent)

No	Parameter	K_{eq} (N/m)	M_{eq} (Kg)	C_{eq} (N.s/m)	$\omega_{n eq}$ (Hz)	$\omega_{n eq}$ (rad/s)	ζ_1
1	1 DVA Natural Rubber 12 mm	7182816	0,08235	30,76	1486,4	9339	0,02
2	2 DVA Natural Rubber 12 mm	14349112	0,16471	61,49	1485,5	9334	0,02
3	3 DVA Natural Rubber 12 mm	21607349	0,24706	92,42	1488,4	9352	0,02
4	1 DVA Natural Rubber 14 mm	4403762	0,078732	23,55	1190,3	7479	0,02
5	2 DVA Natural Rubber 14 mm	8854720	0,15746	47,23	1193,5	7499	0,02
6	3 DVA Natural Rubber 14 mm	13307138	0,2362	70,92	1194,6	7506	0,02
7	1 DVA Natural Rubber 16 mm	3377509	0,073922	19,99	1075,8	6759	0,02
8	2 DVA Natural Rubber 16 mm	6763629	0,14784	40,00	1076,5	6764	0,02
9	3 DVA Natural Rubber 16 mm	10228548	0,22176	60,24	1080,9	6791	0,02
10	1 DVA Neoprene Rubber 12 mm	4725259	0,08248	24,97	1204,6	7569	0,02
11	2 DVA Neoprene Rubber 12 mm	9456028	0,16496	49,96	1205	7571	0,02
12	3 DVA Neoprene Rubber 12 mm	14293004	0,24868	75,41	1206,6	7581	0,02
13	1 DVA Neoprene Rubber 14 mm	2872523	0,079033	19,06	959,51	6029	0,02
14	2 DVA Neoprene Rubber 14 mm	5752618	0,15807	38,14	960,13	6033	0,02
15	3 DVA Neoprene Rubber 14 mm	8665451	0,2371	57,34	962,17	6045	0,02
16	1 DVA Neoprene Rubber 16 mm	2176212	0,074455	16,10	860,45	5406	0,02
17	2 DVA Neoprene Rubber 16 mm	4370044	0,14891	32,27	862,19	5417	0,02
18	3 DVA Neoprene Rubber 16 mm	6605040	0,22336	48,58	865,48	5438	0,02

3.2.8 Simulasi

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

3.2.8.1 Engineering Data

Berikut tabel 3.5 merupakan material dan *properties* yang nantinya akan dimasukkan pada menu *engineering data* dan digunakan saat penggunaan *Ansys* untuk mencari data pada table di atas nya.

Tabel 3.8 Material Properties

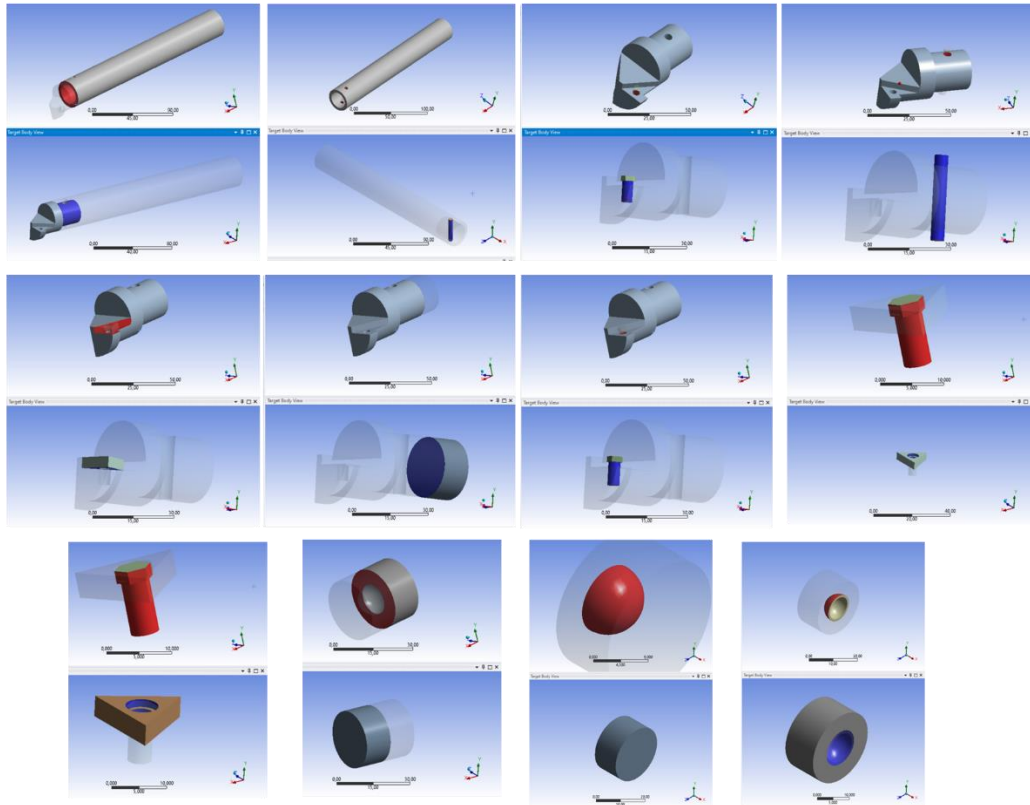
<i>Mechanical Properties</i>	Body, Head, Bolt, Pin	<i>Insert</i>	Karet 1	Karet 2	Massa
<i>Material</i>	AISI 1045	Carbide	<i>Neoprene rubber</i>	<i>Natural rubber</i>	<i>Bearing Steel</i>
<i>Density (kg/m3)</i>	7850	15630	1292	960	7800
<i>Young Modulus (GPa)</i>	210	530	0,001	0,0015	210
<i>Poissons Ratio</i>	0,3	0,31	0,49	0,49	0,285
<i>Bulk Modulus (GPa)</i>	175	465	0,0083	0,025	162
<i>Shear Modulus (Gpa)</i>	81	202	0,000167	0,0005	81
<i>Damping ratio</i>	0,005	0,005	0,02	0,02	0,005

3.2.8.2 Geometry

Adapun desain yang nantinya akan digunakan dibagi menjadi 2 bagian yakni *regular boring bar* dan *customized boring bar* dengan L/D *overhang* 8. *Customized boring bar* dengan 3 variasi besar massa, jumlah, dan jenis karet DVA seperti yang tertera pada gambar 3.8.

3.2.8.3 Connection

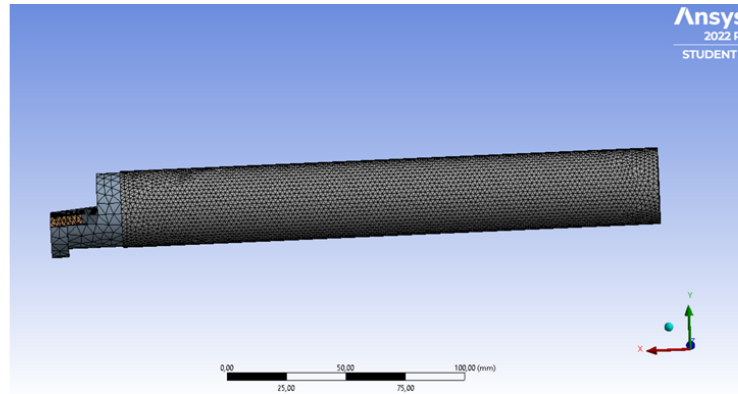
Pada penelitian kali ini hanya terdapat 2 jenis *connection* yaitu *bonded connection* dan *no separation connection*. Pada *bonded connection* kedua permukaan tidak dapat bergerak kearah normal maupun tangensial, digunakan pada kontak permukaan metal dengan metal dan *no separation* untuk metal dengan karet sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.30



Gambar 3.32 *Bonded and No Separation Connection in Ansys*

3.2.8.4 Mesh

Meshing merupakan metode *finite element* sebagai pendekatan pada wujud yang asli, pada *geometry* penelitian ini digunakan 2 teknik *meshing* sederhana yakni *body sizing* dan *face meshing*, *body sizing* sendiri dibagi menjadi 2 bagian yakni *boring bar* dan *insert* yang mana memiliki *element size* berbeda-beda sesuai dengan *geometry*nya, untuk *boring bar* digunakan *element size* 4,9 mm, *insert* 2 mm. *Face meshing* dilakukan pada profil permukaan melengkung pada *boring bar* guna menyesuaikan *body sizing* yang digunakan. Seluruh *body sizing* memiliki *behaviour hard* yang memiliki makna *element size* yang telah ditetapkan tidak terdistorsi.



(a)

Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Element Quality	Default (5,e-002)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	0,11264
<input type="checkbox"/> Max	0,99977
<input type="checkbox"/> Average	0,63105
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,17648

(b)

Orthogonal Quality mesh metrics spectrum:

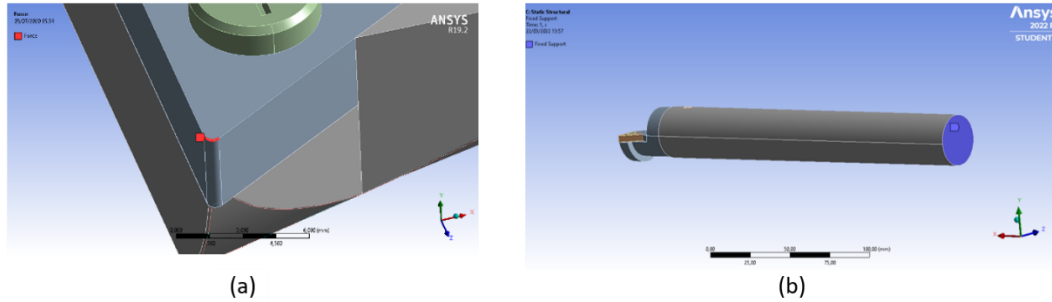
Orthogonal Quality mesh metrics spectrum					
Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

(c)

Gambar 3.33 (a) *Mesh*, (b) *Mesh Quality*, (c) *Orthogonal Quality Parameter*

3.2.8.5 Force dan Fixed Support

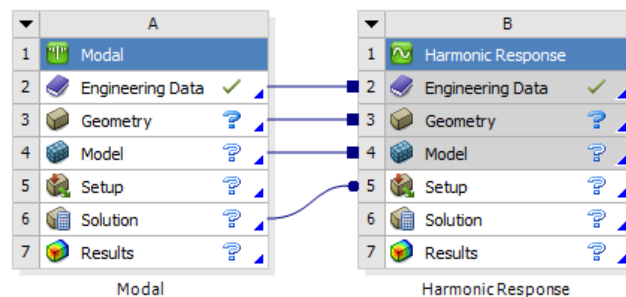
Gaya eksitasi yang diterima diasumsikan terpusat pada bagian *edge* di *nose insert*, hal ini dikarenakan pemotongan dilakukan pada kondisi *finish cut* dimana *depth of cut* sangat kecil. *Fixed support* diletakkan pada bagian penampang belakang dimana *boring bar* menerima gaya tekan antara *clamp bolt* dan *tool post* sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.32.



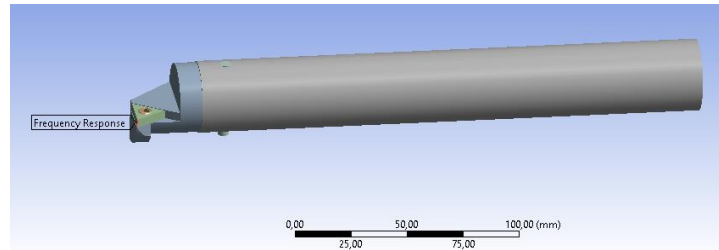
Gambar 3.34 (a) Force, (b) Fixed Support

3.2.8.6 Modal dan Harmonic Response

Modal merupakan 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 menggunakan software ansys ini, *engineering data*, *geometry*, model, dan *solution* pada *modal* diberi garis hubung dengan *harmonic response* seperti pada gambar 3.27 (a), kemudian setelah melakukan *input engineering data*, *input geometry*, *input connection*, dan *meshing*, pada simulasi *modal* diberi *input fixed support* kemudian max modes disetting hingga mode yang muncul melebihi 1000 Hz, hal ini dilakukan karena *bode diagram* yang menjadi *output* akan disetting dari 0 Hz – 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 dianalisa seperti pada gambar 3.27 (b) 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 3.35 Modal and Harmonic Response



Gambar 3.36 *Frequency Response is placed on the tip of the tool*

3.2.9 Respon Getaran

Setelah dilakukan simulasi maka didapatkan hasil reduksi respon getaran yang kemudian dibentuk grafik reduksi respon getaran DVA yang bervariasi terhadap *regular boring bar* dan *customized boring bar*, respon gerak *mass ring* guna membukikan desain 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.

3.2.10 Analisa Data dan Pembahasan

Hasil dari simulasi yang didapat akan dianalisa dan dibahas sesuai dengan dasar teori yang ada dan dari analisis data dan pembahasaan yang dilakukan, diketahui variable-variabel yang mempengaruhi reduksi respon getaran pada sistem utama yakni *boring bar* pada proses pengeboran di mesin bubut dan DVA yang telah divariasikan. Dan akan diambil hasil yang memiliki reduksi optimal.

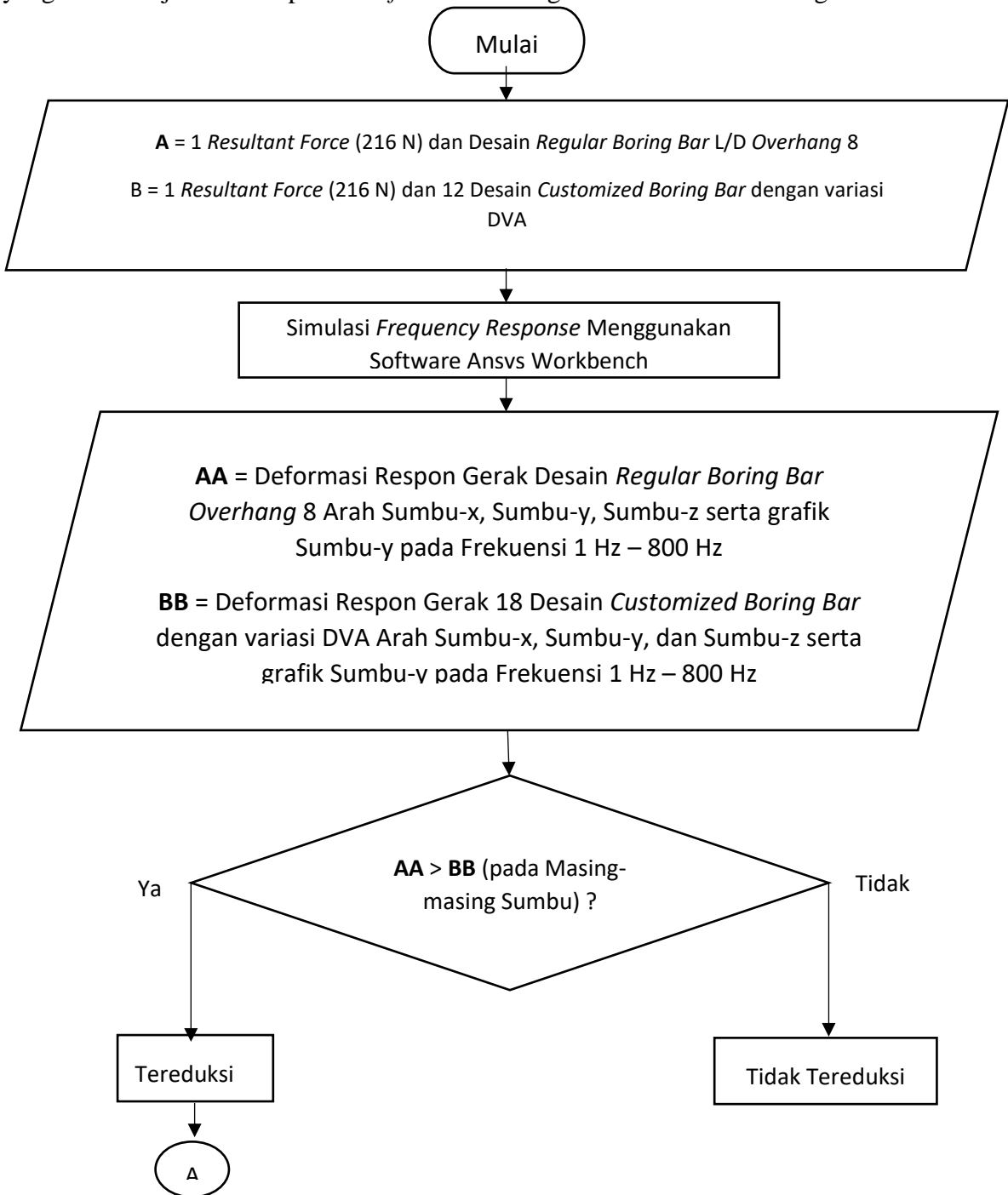
3.2.11 Kesimpulan

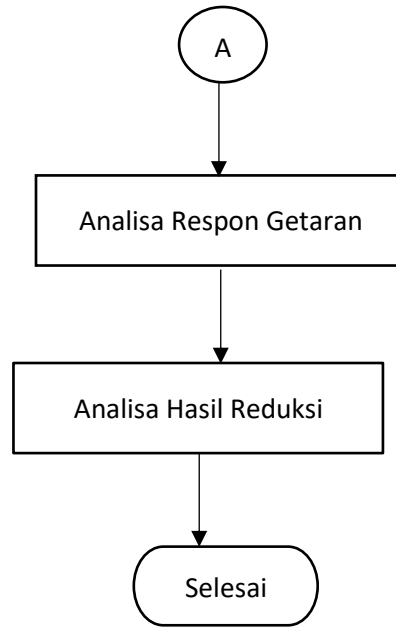
Berdasarkan hasil eksperimen dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan dari penelitian ini. Kesimpulan yang ditulis berupa pokok bahasan dan menjawab rumusan masalah yang telah dituliskan pada bab I sehingga tujuan dari penelitian tercapai. Kemudian akan dibuat saran untuk penelitian selanjutnya agar mendapatkan hasil yang lebih baik.

BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Flowchart Analisis Data

Adapun langkah-langkah yang dilakukan untuk mengolah data dalam penelitian ini yang ditunjukkan pada *flowchart* gambar 4.1 sebagai berikut.





Gambar 4. 1 Data Analysis Flowchart

4.2 Analisa Respon Getaran

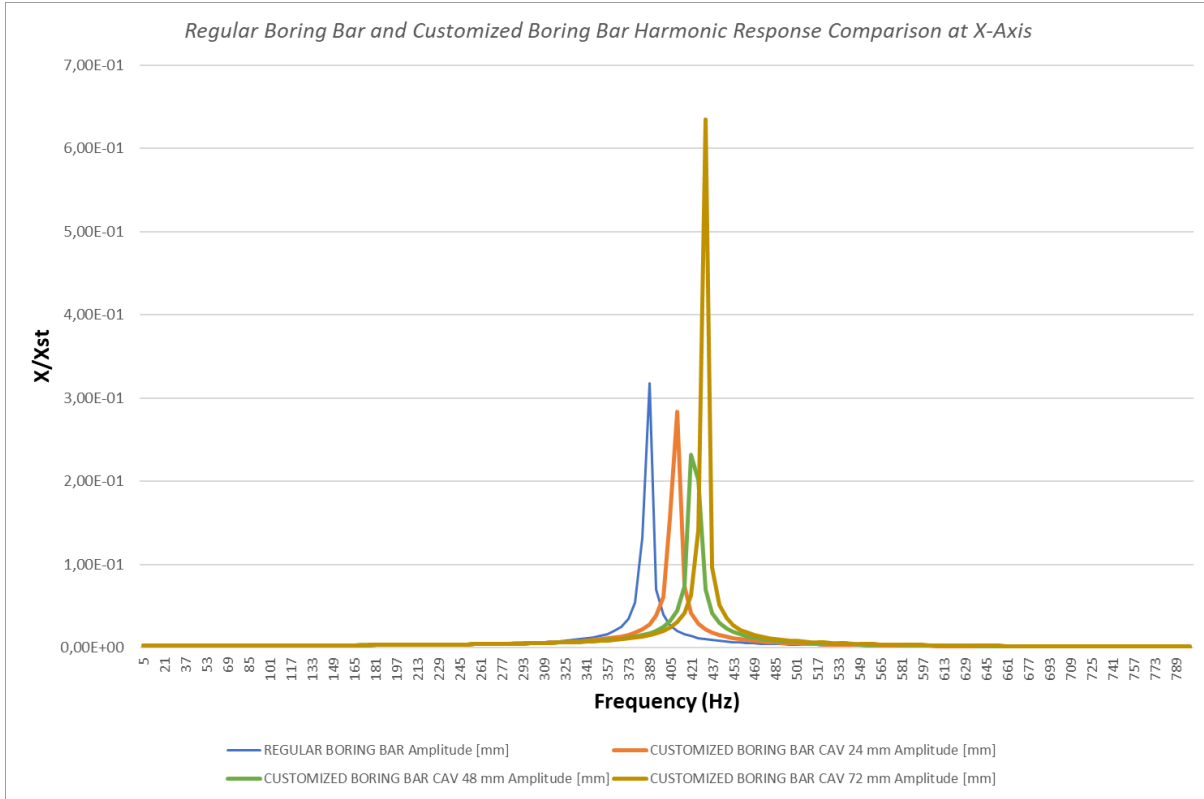
Simulasi pada penelitian kali ini dilakukan dengan menggunakan software *ansys workbench static structural*, modal dan *harmonic response*. Analisis dilakukan dengan input model geometry, variasi kekakuan karet beserta engineering data dan menginput masing-masing material pada geometry, kemudian dilakukan meshing, dan pemberian gaya serta fix support pada model system. Kemudian simulasi dilakukan dengan output deformation frequency response pada insert dengan arah x, y, dan z di masing masing geometry dan variasi. Datayang dihasilkan dari simulasi kemudian diolah menggunakan Microsoft excel dengan membagi semua respon data yang didapat dengan deformasi statis regular boring bar dan *costumized boring bar* pada sumbu x, y, dan z. Dari hasil olah data pada ms.excel didapat dimentionless frequency response yang kemudian diplot menjadi grafik/bode diagram, dan grafik presentase reduksi getaran setelah dilakukan penambahan DVA.

4.2.1 Respon Getaran Boring Bar tanpa DVA

Analisa respon getaran sistem utama dilakukan pada arah sumbu x, y, dan z. Sistem utama pada penelitian ini adalah boring bar standar dan boring bar standar berlubang (*custom*). Simulasi dilakukan untuk mendapatkan respon getaran sistem utama dalam bentuk rasio amplitude terhadap frekuensi yang kemudian di plot untuk mendapatkan bode diagram. Berikut merupakan bode diagram hasil simulasi respon getaran sistem utama.

4.2.1.1 Respon Getaran *Regular Boring Bar* dan *Customized Boring Bar* pada Sumbu X (Axial)

Analisa respon getaran arah sumbu X pada *regular boring bar* dan *customized boring bar* tanpa dva dengan cavity sepanjang 24 mm, 48 mm, dan 72 mm pada frekuensi 0-800 Hz.



Gambar 4. 2 Comparison of Regular and Customized Boring Bar Harmonic Response at X-Axis

Pada gambar 4.2 merupakan respon gerak arah sumbu X (aksial) pada *standard boring bar* dan *customized boring bar* tanpa dva dengan cavity sepanjang 24 mm, 48 mm, dan 72 mm. Pada gambar diatas merupakan grafik rasio amplitude (X/x_{st}) terhadap frekuensi, *regular boring bar* dan *customized boring bar* (*boring bar bercavity*). Puncak resonansi akan semakin bergeser kekanan seiring bertambahnya panjang dari cavity. Begitu juga pada frekuensi natural, pada frekuensi natural semakin panjang cavity maka nilai frekuensi natural semakin tinggi. Karena kekakuan boring bar semakin berkurang jika semakin Panjang cavitynya.

Pada standar boring bar memiliki nilai deformasi maksimum sebesar 0,31792 mm pada frekuensi 389 Hz. Sedangkan pada *costumized boring bar* dengan *cavity* 24 mm memiliki deformasi maksimum sebesar 0,28361 mm pada frekuensi 410 Hz. Pada *costumized boring bar* dengan *cavity* 48 mm memiliki deformasi maksimum sebesar 0,23175 mm pada frekuensi 421 Hz. Dan pada *costumized boring bar* dengan *cavity* 72 mm memiliki deformasi maksimum sebesar 0,63507 mm pada frekuensi 432 Hz. Deformasi pada *costumized boring bar* dengan *cavity* 72 mm memiliki deformasi maksimum terbesar karena kekakuan dari

costumized boring bar kurang dari 95% dari deformasi *standard boring bar*. Pada sumbu Y dan sumbu Z memiliki trend grafik yang sama dimana boring bar dengan nilai semakin Panjang cavity maka puncak resonansi akan semakin bergeser ke kanan, dimana frekuensi natural juga semakin besar karena kekakuan boring bar semakin berkurang jika semakin Panjang cavitynya dimana grafik sumbu Y dan sumbu Z dapat dilihat pada lampiran

4.2.2 Respon Getaran Boring Bar dengan DVA

Analisa respon getaran sistem utama dilakukan pada arah sumbu x, y, dan z. Sistem utama pada penelitian ini adalah boring bar standar dan variasi boring bar standar berlubang (*custom*) yang telah diberi DVA. Simulasi dilakukan untuk mendapatkan respon getaran sistem utama dalam bentuk rasio amplitude terhadap frekuensi yang kemudian di plot untuk mendapatkan bode diagram. Hasil simulasi akan diinput kedalam ms.excel dan data akan diolah untuk mendapatkan hasil yang telah ditentukan sesuai dengan frekuensi operasional yang telah ditetapkan.

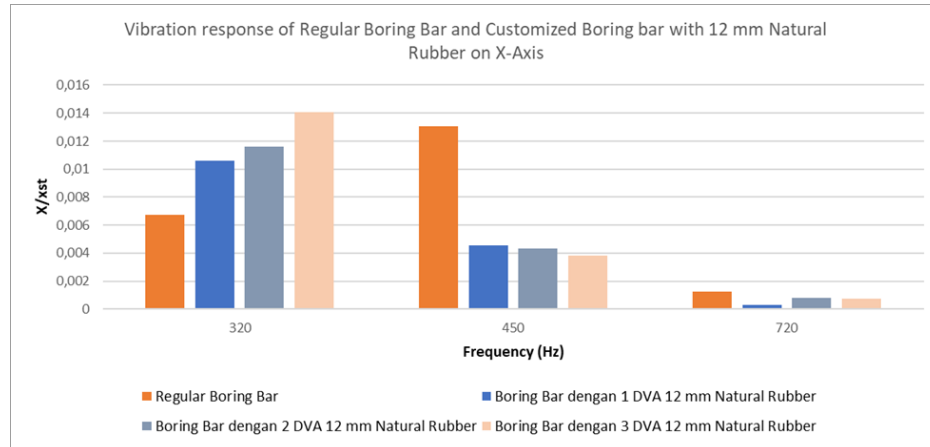
Desain variasi boring bar memiliki respon getaran yang berbeda dari respon getaran yang terjadi pada standar boring bar. Respon getaran terhadap sumbu X, Y, dan Z memiliki banyak perbedaan dari nilai respon getaran yang didapat. Dan berikut merupakan grafik dari regular boring bar dan *customized* dengan penambahan DVA Natural Rubber.

4.2.2.1 Analisa Getaran Regular Boring Bar Terhadap Customized Boring Bar dengan DVA Natural Rubber 12 mm

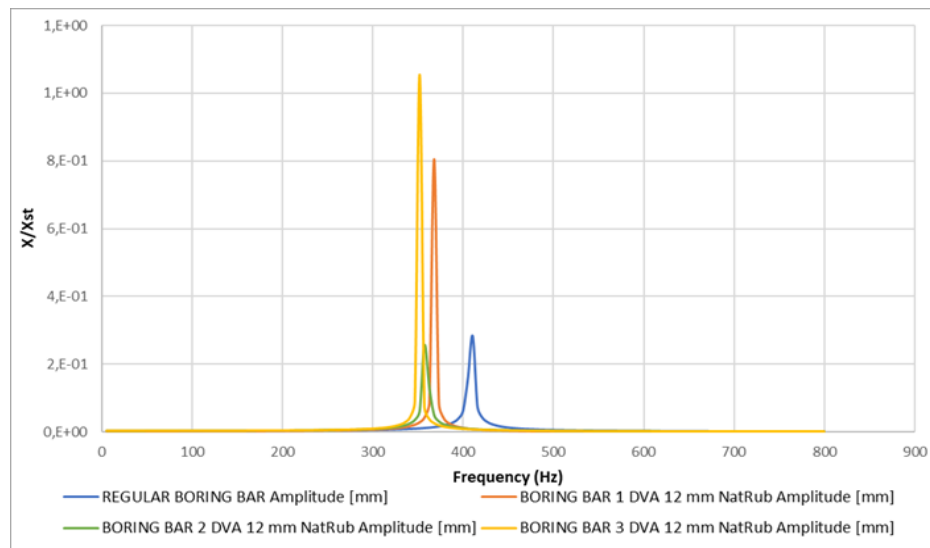
Tabel 4. 1 *Vibration Response of Regular and Customized with DVA Natural Rubber 12 mm*

AXIS	VARIASI	Operational Frequency (Hz)		
		320	450	720
X	Regular Boring Bar	0,00672	0,013047	0,001266
	Boring Bar dengan 1 DVA 12 mm Natural Rubber	0,010611	0,004563	0,000294
	Boring Bar dengan 2 DVA 12 mm Natural Rubber	0,011611	0,00433	0,000796
	Boring Bar dengan 3 DVA 12 mm Natural Rubber	0,014086	0,003851	0,000753
Y	Regular Boring Bar	0,26885	0,24236	0,029115
	Boring Bar dengan 1 DVA 12 mm Natural Rubber	0,34553	0,16737	0,026234
	Boring Bar dengan 2 DVA 12 mm Natural Rubber	0,40883	0,1453	0,027005
	Boring Bar dengan 3 DVA 12 mm Natural Rubber	0,44665	0,13482	0,025891
Z	Regular Boring Bar	0,082882	0,077947	0,010199
	Boring Bar dengan 1 DVA 12 mm Natural Rubber	0,10859	0,052325	0,007365
	Boring Bar dengan 2 DVA 12 mm Natural Rubber	0,125	0,046568	0,008566
	Boring Bar dengan 3 DVA 12 mm Natural Rubber	0,15119	0,041313	0,008077

Pada table 4.1 dapat dilihat hasil dari proses simulasi melalui aplikasi *Ansys Workbench*. Dari data tersebut didapatkan grafik pada gambar 4.7 seperti berikut.



(a)



(b)

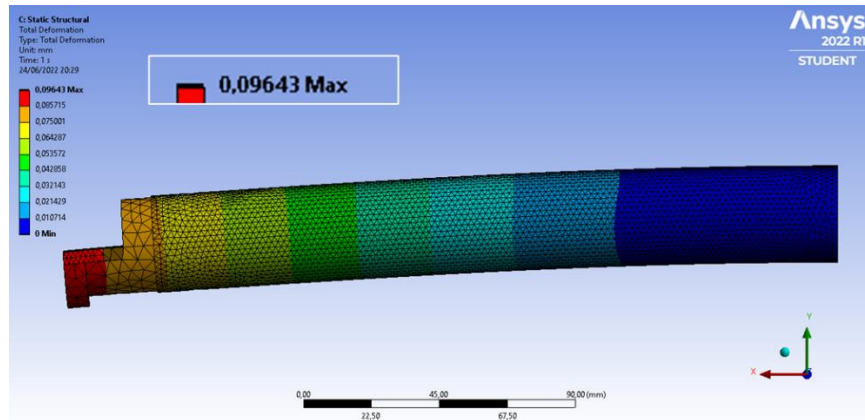
Gambar 4.3 *Vibration Response of Regular Boring Bar and Customized Boring Bar with DVA Natural Rubber 12 mm at 320 Hz, 450 Hz, and 720 Hz at X-Axis in (a) as bar and (b) as graph*

Dapat dilihat bahwa nilai respon getaran ketiga boring bar kustom karet *natural rubber* yang berdiameter 12 mm memiliki perbedaan dengan respon getaran *regular boring bar*, terlihat pada 3 macam frekuensi operasional yakni 320 Hz, 450 Hz, dan 720 Hz. Pada frekuensi operasional 320 Hz bahkan tidak meredam.

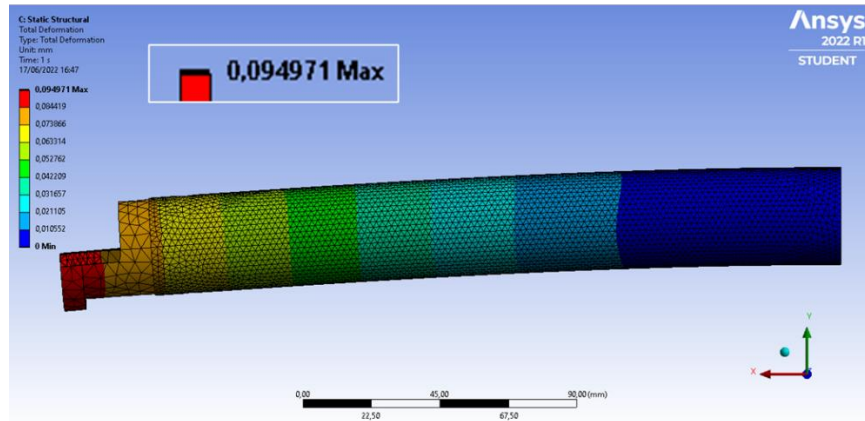
Pada frekuensi operasional 450 Hz memiliki nilai respon getaran yang berbeda. Pada boring bar kustom *natural rubber* berdiameter 12 mm mampu meredam getaran yang terjadi baik terhadap sumbu x, y, dan z tetapi yang terbesar pada sumbu x dimana memiliki jarak terbesar antar bar *regular boring bar* dan *customized boring bar natural rubber* berDVA 12 mm.

Dan pada frekuensi operasional 720 Hz memiliki perbedaan nilai respon getaran yang hampir sama. Hal ini dikarenakan frekuensi operasional yang diambil terletak setelah frekuensi natural dari boring bar, sehingga nilai amplitude *regular boring bar* dan *customized boring bar natural rubber* berDVA 12 mm cenderung lebih rendah dibandingkan 320 Hz dan 450 Hz.

Pada grafik ditunjukkan bahwa frekuensi natural dari boring bar yang terisi dua 12 mm lebih kecil daripada boring bar regular, hal tersebut terjadi karena kekakuan boring bar yang terisi dua 12 mm yang dimiliki lebih besar daripada boring bar regular. Dengan nilai maksimal amplitude untuk 1 DVA 12 mm yakni 0,80428 pada frekuensi 368 Hz, lalu untuk 2 DVA 12 mm ialah 0,2556 pada frekuensi 357 Hz, dan untuk 3 DVA 12 mm ialah 1,0552 pada frekuensi 352 Hz. Trend tersebut terjadi karena boring bar customized 1 DVA memiliki kekakuan yang lebih besar dibandingkan 2 DVA dan 3 DVA. Dan trend grafik juga terjadi pada sumbu Y dan sumbu Z dengan bar dan grafik yang ditaruh di lampiran.



(a)



(b)

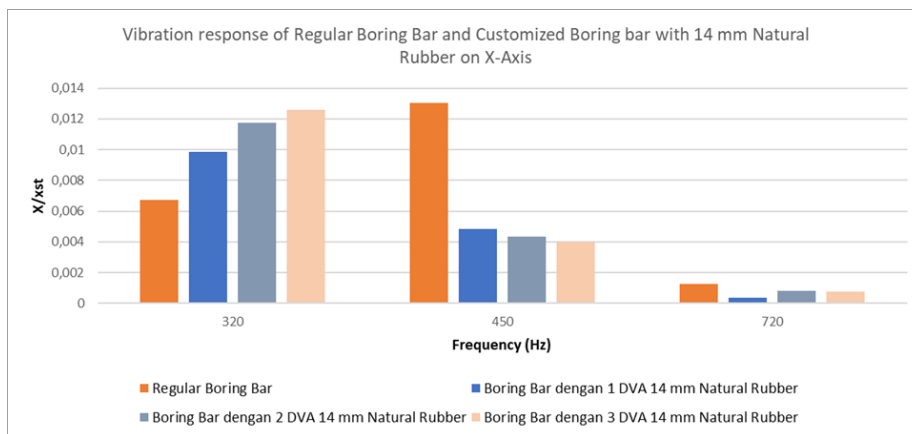
Gambar 4. 4 Picture of (a) Deformation of Regular Boring bar and (b) Deformation of Boring bar with 12 mm Natural Rubber

4.2.2.2 Analisa Getaran Regular Boring Bar Terhadap Customized Boring Bar dengan DVA Natural Rubber 14 mm

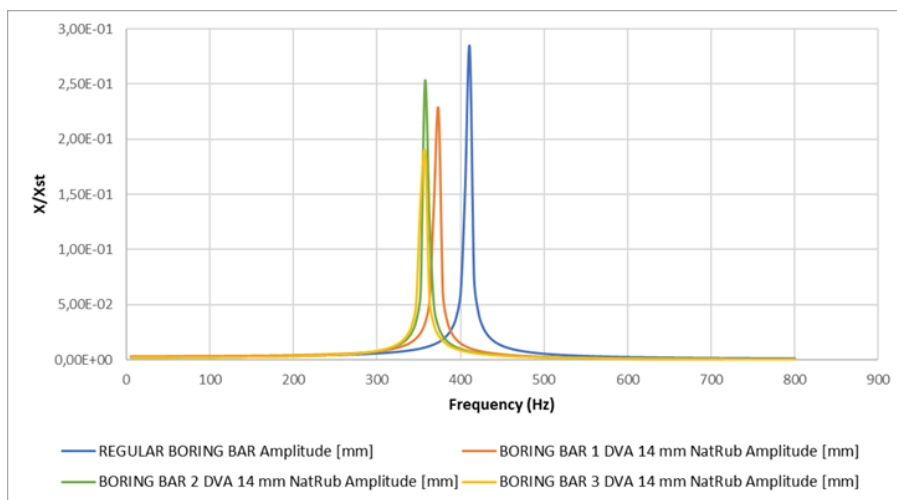
Tabel 4. 2 *Vibration Response of Regular and Customized with DVA Natural Rubber 14 mm*

AXIS	VARIASI	Operational Frequency (Hz)		
		320	450	720
X	Regular Boring Bar	0,00672	0,013047	0,001266
	Boring Bar dengan 1 DVA 14 mm Natural Rubber	0,009839	0,004825	0,000375
	Boring Bar dengan 2 DVA 14 mm Natural Rubber	0,011744	0,004353	0,000802
	Boring Bar dengan 3 DVA 14 mm Natural Rubber	0,012595	0,003989	0,000759
Y	Regular Boring Bar	0,26885	0,24236	0,029115
	Boring Bar dengan 1 DVA 14 mm Natural Rubber	0,32938	0,17336	0,026302
	Boring Bar dengan 2 DVA 14 mm Natural Rubber	0,40538	0,14723	0,027237
	Boring Bar dengan 3 DVA 14 mm Natural Rubber	0,44665	0,13482	0,025891
Z	Regular Boring Bar	0,082882	0,077947	0,010199
	Boring Bar dengan 1 DVA 14 mm Natural Rubber	0,10203	0,055146	0,007737
	Boring Bar dengan 2 DVA 14 mm Natural Rubber	0,12555	0,04652	0,008568
	Boring Bar dengan 3 DVA 14 mm Natural Rubber	0,13663	0,043238	0,008228

Pada table 4.2 dapat dilihat hasil dari proses simulasi melalui aplikasi *Ansys Workbench*. Dari data tersebut didapatkan grafik pada gambar 4.9 seperti berikut.



(a)



(b)

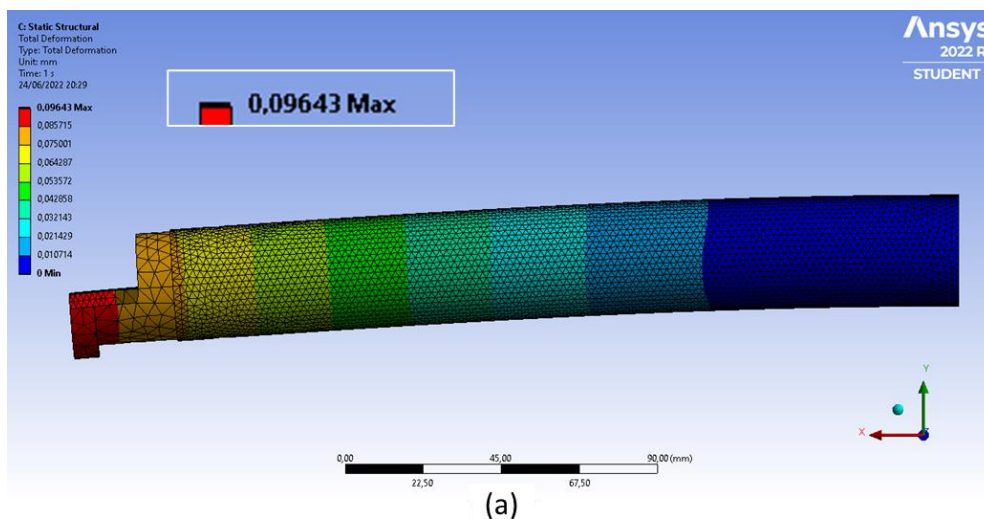
Gambar 4. 5 *Vibration Response of Regular Boring Bar and Customized Boring Bar with DVA Natural Rubber 14 mm at 320 Hz, 450 Hz, and 720 Hz at X-Axis in (a) as bar and (b) as graph*

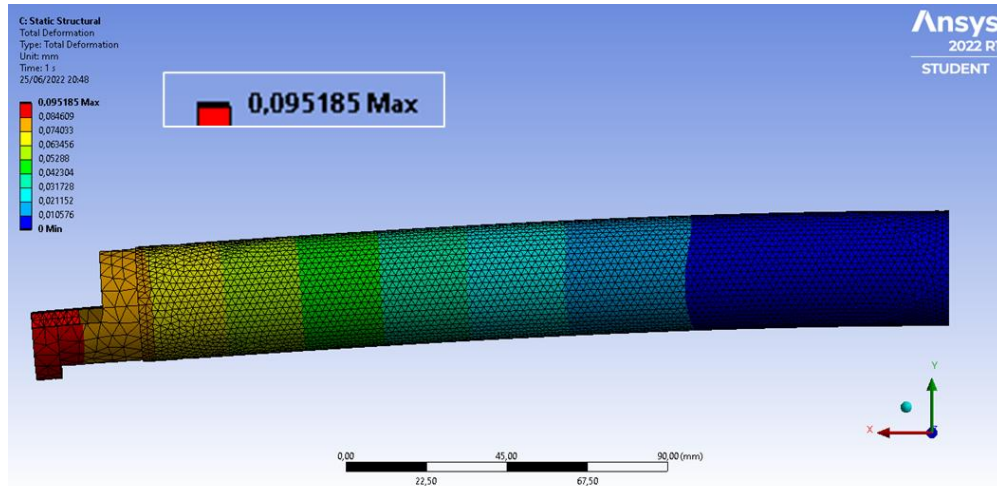
Dapat dilihat bahwa nilai respon getaran ketiga boring bar kustom karet *natural rubber* yang berdiameter 14 mm memiliki perbedaan dengan respon getaran *regular boring bar*, terlihat pada 3 macam frekuensi operasional yakni 320 Hz, 450 Hz, dan 720 Hz. Pada frekuensi operasional 320 Hz bahkan tidak meredam, justru memiliki nilai amplitude lebih tinggi dibandingkan *regular boring bar*.

Pada frekuensi operasional 450 Hz memiliki nilai respon getaran yang berbeda. Pada boring bar kustom *natural rubber* berdiameter 14 mm mampu meredam getaran yang terjadi baik terhadap sumbu x, y, dan z tetapi yang terbesar pada sumbu x dimana memiliki jarak terbesar antar bar *regular boring bar* dan *customized boring bar natural rubber* berDVA 14 mm.

Dan pada frekuensi operasional 720 Hz memiliki perbedaan nilai respon getaran yang hampir sama. Hal ini dikarenakan frekuensi operasional yang diambil terletak setelah frekuensi natural dari boring bar, sehingga nilai amplitude *regular boring bar* dan *customized boring bar natural rubber* berDVA 14 mm cenderung lebih rendah dibandingkan 320 Hz dan 450 Hz. Dan tetap terjadi peredaman pada semua sumbu x, y, dan z dengan peredaman terbesar terjadi pada sumbu x dengan variasi 1 DVA. Dapat dilihat bahwa pada frekuensi 720 Hz, pada sumbu y dan z memiliki amplitude yang hampir sama dengan *regular boring bar*.

Pada grafik ditunjukkan bahwa frekuensi natural dari boring bar yang terisi dva 14 mm lebih kecil daripada boring bar regular, hal tersebut terjadi karena kekakuan boring bar yang terisi dva 14 mm yang dimiliki lebih besar daripada boring bar regular. Dengan nilai maksimal amplitude untuk 1 DVA 14 mm yakni 0,227 pada frekuensi 373 Hz, lalu untuk 2 DVA 14 mm ialah 0,25315 pada frekuensi 357 Hz, dan untuk 3 DVA 14 mm ialah 0,1857 pada frekuensi 357 Hz. Trend tersebut terjadi karena boring bar customized 2 DVA memiliki kekakuan yang lebih besar daripada 1 DVA dan 3 DVA. Dan trend grafik juga terjadi pada sumbu Y dan sumbu Z dengan bar dan grafik yang ditaruh di lampiran.





(b)

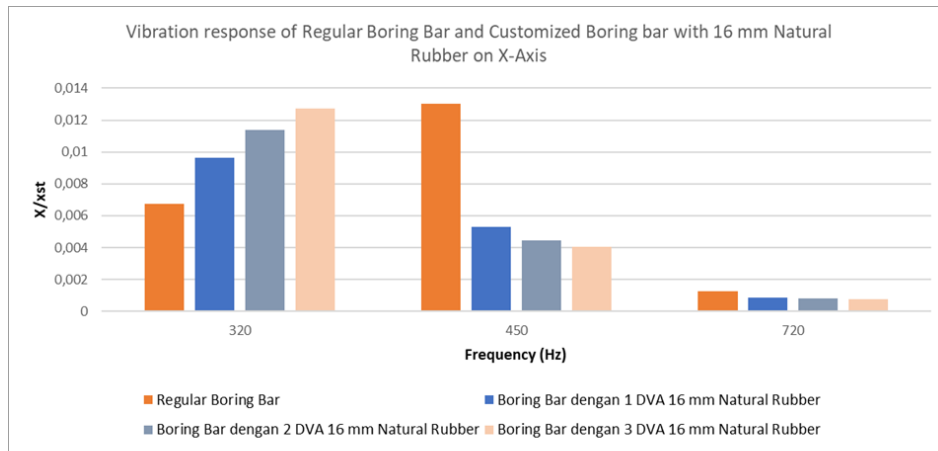
Gambar 4. 6 Picture of (a) Deformation of Regular Boring bar and (b) Deformation of Boring bar with 14 mm Natural Rubber

4.2.2.3 Analisa Getaran *Regular Boring Bar* Terhadap *Customized Boring Bar* dengan DVA *Natural Rubber 16 mm*

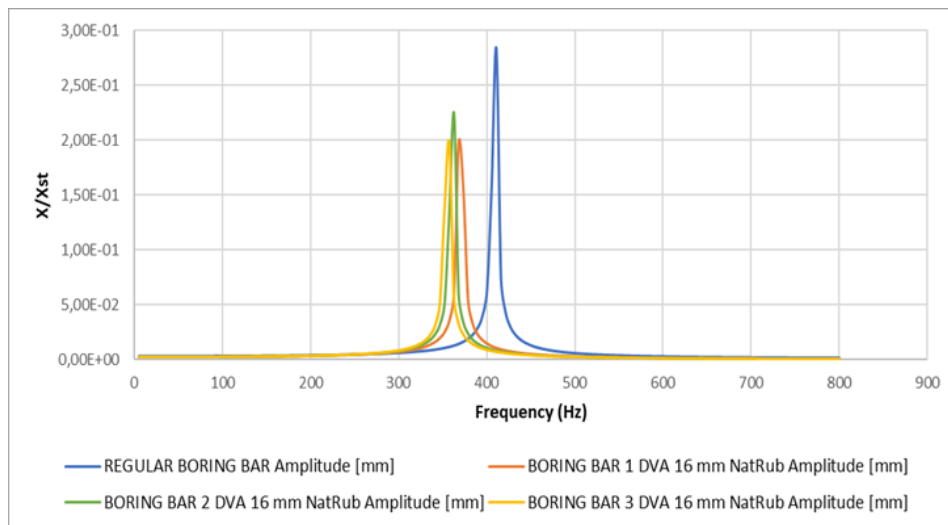
Tabel 4. 3 *Vibration Response of Regular and Customized with DVA Natural Rubber 16 mm*

AXIS	VARIASI	Operational Frequency (Hz)		
		320	450	720
X	Regular Boring Bar	0,00672	0,013047	0,001266
	Boring Bar dengan 1 DVA 16 mm Natural Rubber	0,009633	0,005272	0,000878
	Boring Bar dengan 2 DVA 16 mm Natural Rubber	0,011381	0,00446	0,000811
	Boring Bar dengan 3 DVA 16 mm Natural Rubber	0,012731	0,004049	0,00077
Y	Regular Boring Bar	0,26885	0,24236	0,029115
	Boring Bar dengan 1 DVA 16 mm Natural Rubber	0,32796	0,17604	0,029505
	Boring Bar dengan 2 DVA 16 mm Natural Rubber	0,39262	0,15074	0,027544
	Boring Bar dengan 3 DVA 16 mm Natural Rubber	0,43912	0,13667	0,026093
Z	Regular Boring Bar	0,082882	0,077947	0,010199
	Boring Bar dengan 1 DVA 16 mm Natural Rubber	0,1024	0,056026	0,009337
	Boring Bar dengan 2 DVA 16 mm Natural Rubber	0,12162	0,047644	0,008666
	Boring Bar dengan 3 DVA 16 mm Natural Rubber	0,13689	0,043515	0,008274

Pada table 4.3 dapat dilihat hasil dari proses simulasi melalui aplikasi *Ansyes Workbench*. Dari data tersebut didapatkan grafik pada gambar 4.11 seperti berikut.



(a)



(b)

Gambar 4. 7 *Vibration Response of Regular Boring Bar and Customized Boring Bar with DVA Natural Rubber 16 mm at 320 Hz, 450 Hz, and 720 Hz at X-Axis in (a) as bar and (b) as graph*

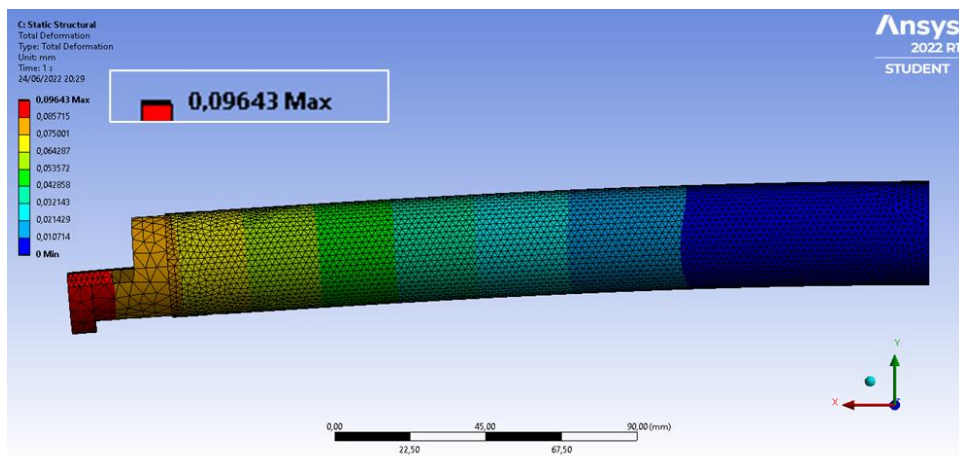
Dapat dilihat bahwa nilai respon getaran ketiga boring bar kustom karet *natural rubber* yang berdiameter 16 mm memiliki perbedaan dengan respon getaran *regular boring bar*, terlihat pada 3 macam frekuensi operasional yakni 320 Hz, 450 Hz, dan 720 Hz. Pada frekuensi operasional 320 Hz bahkan tidak meredam.

Pada frekuensi operasional 450 Hz memiliki nilai respon getaran yang berbeda. Pada boring bar kustom *natural rubber* berdiameter 16 mm mampu meredam getaran yang terjadi baik terhadap sumbu x, y, dan z tetapi yang terbesar pada sumbu x dimana memiliki jarak terbesar antar bar *regular boring bar* dan *customized boring bar natural rubber* berDVA 16 mm.

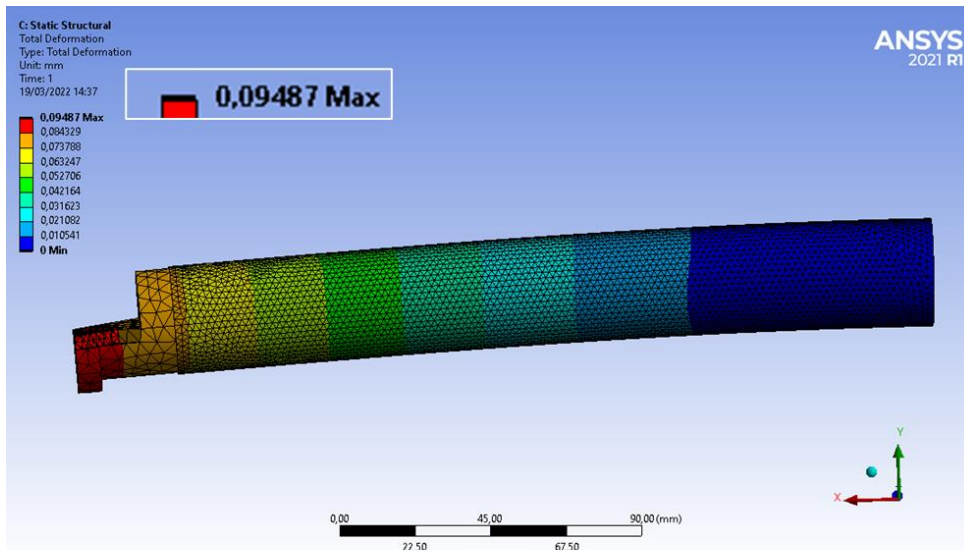
Dan pada frekuensi operasional 720 Hz memiliki perbedaan nilai respon getaran yang hampir sama. Hal ini dikarenakan frekuensi operasional yang diambil terletak setelah frekuensi natural dari boring bar, sehingga nilai amplitude *regular boring bar* dan *customized boring bar natural rubber* berDVA 16 mm cenderung lebih rendah dibandingkan 320 Hz dan 450 Hz. Dan tetap terjadi peredaman pada semua sumbu x, dan z dengan peredaman terbesar terjadi pada sumbu x.

Pada sumbu y untuk variasi 1 DVA tidak terjadi peredaman. Dapat dilihat bahwa pada frekuensi 720 Hz, semua sumbu memiliki amplitude yang hampir sama dengan *regular boring bar*.

Pada grafik ditunjukkan bahwa frekuensi natural dari boring bar yang terisi dva 16 mm lebih kecil daripada boring bar regular, hal tersebut terjadi karena kekakuan boring bar yang terisi dva 16 mm yang dimiliki lebih besar daripada boring bar regular. Dengan nilai maksimal amplitude untuk 1 DVA 16 mm yakni 0,19794 pada frekuensi 368 Hz, lalu untuk 2 DVA 16 mm ialah 0,22466 pada frekuensi 362 Hz, dan untuk 3 DVA 16 mm ialah 0,19783 pada frekuensi 357 Hz. Trend tersebut terjadi karena boring bar customized 1 DVA memiliki kekakuan lebih besar daripada 2 DVA tetapi juga lebih kecil daripada 3 DVA. Dan trend grafik juga terjadi pada sumbu Y dan sumbu Z dengan bar dan grafik yang ditaruh di lampiran.



(a)



(b)

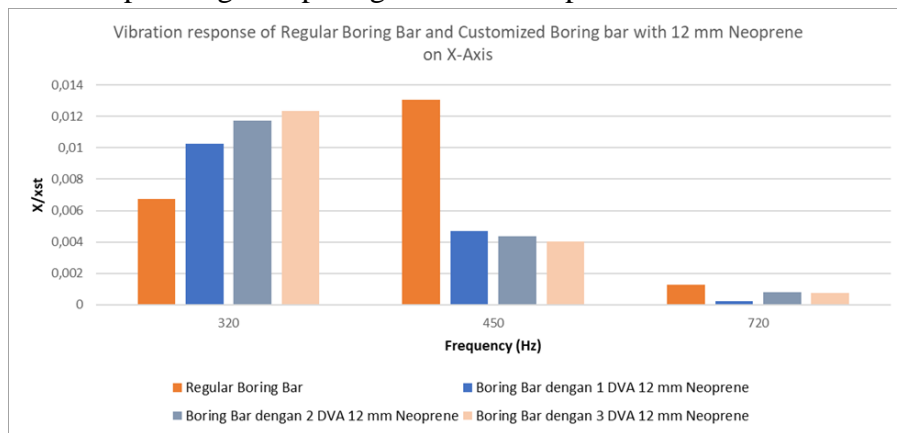
Gambar 4. 8 Picture of (a) Deformation of Regular Boring bar and (b) Deformation of Boring bar with 16 mm Natural Rubber

4.2.2.4 Analisa Getaran *Regular Boring Bar* Terhadap *Customized Boring Bar* dengan DVA *Neoprene Rubber 12 mm*

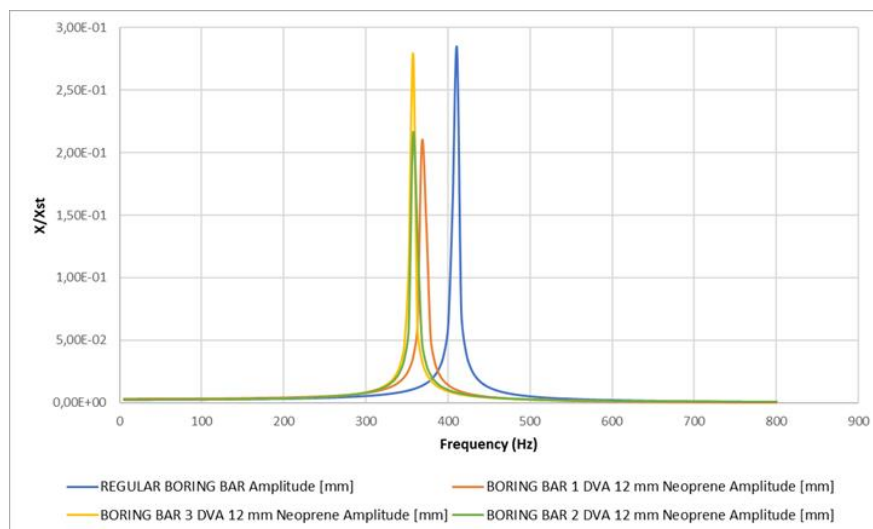
Tabel 4. 4 *Vibration Response of Regular and Customized with DVA Neoprene Rubber 12 mm*

AXIS	VARIASI	Operational Frequency (Hz)		
		320	450	720
X	Regular Boring Bar	0,00672	0,013047	0,001266
	Boring Bar dengan 1 DVA 12 mm Neoprene	0,010274	0,00468	0,000243
	Boring Bar dengan 2 DVA 12 mm Neoprene	0,011718	0,004383	0,000806
	Boring Bar dengan 3 DVA 12 mm Neoprene	0,01234	0,004034	0,000763
Y	Regular Boring Bar	0,26885	0,24236	0,029115
	Boring Bar dengan 1 DVA 12 mm Neoprene	0,33176	0,1755	0,027438
	Boring Bar dengan 2 DVA 12 mm Neoprene	0,401	0,14833	0,027331
	Boring Bar dengan 3 DVA 12 mm Neoprene	0,45762	0,13443	0,025946
Z	Regular Boring Bar	0,082882	0,077947	0,010199
	Boring Bar dengan 1 DVA 12 mm Neoprene	0,10541	0,05435	0,007289
	Boring Bar dengan 2 DVA 12 mm Neoprene	0,12583	0,047048	0,008648
	Boring Bar dengan 3 DVA 12 mm Neoprene	0,1333	0,04347	0,008224

Pada table 4.4 dapat dilihat hasil dari proses simulasi melalui aplikasi *Ansys Workbench*. Dari data tersebut didapatkan grafik pada gambar 4.13 seperti berikut.



(a)



(b)

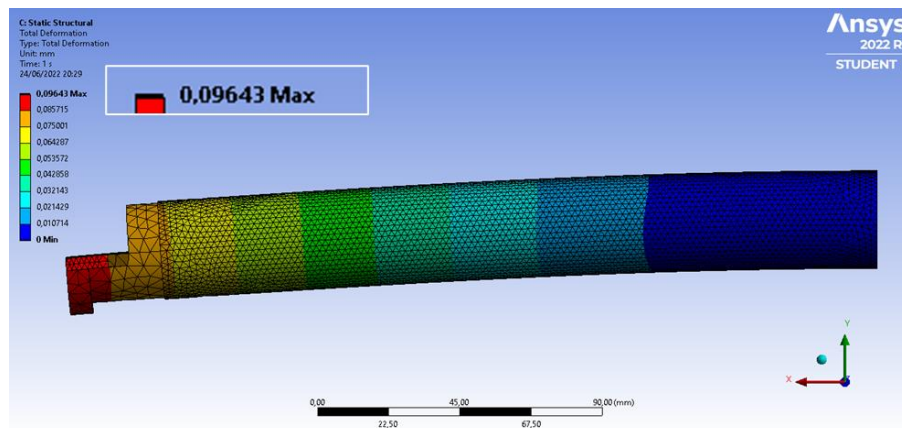
Gambar 4. 9 *Vibration Response of Regular Boring Bar and Customized Boring Bar with DVA Neoprene Rubber 12 mm at 320 Hz, 450 Hz, and 720 Hz at X-Axis in (a) as bar and (b) as graph*

Dapat dilihat bahwa nilai respon getaran ketiga boring bar kustom karet *neoprene rubber* yang berdiameter 12 mm memiliki perbedaan dengan respon getaran *regular boring bar*, terlihat pada 3 macam frekuensi operasional yakni 320 Hz, 450 Hz, dan 720 Hz. Pada frekuensi operasional 320 Hz bahkan tidak meredam.

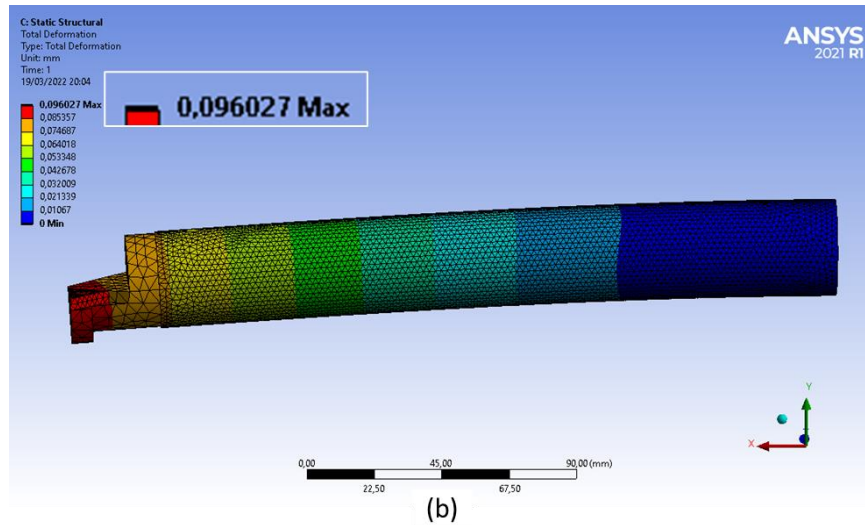
Pada frekuensi operasional 450 Hz memiliki nilai respon getaran yang berbeda. Pada boring bar kustom *neoprene rubber* berdiameter 12 mm mampu meredam getaran yang terjadi baik terhadap sumbu x, y, dan z tetapi yang terbesar pada sumbu x dimana memiliki jarak terbesar antar bar *regular boring bar* dan *customized boring bar neoprene rubber* berDVA 12 mm.

Dan pada frekuensi operasional 720 Hz memiliki perbedaan nilai respon getaran yang hampir sama. Hal ini dikarenakan frekuensi operasional yang diambil terletak setelah frekuensi natural dari boring bar, sehingga nilai amplitude *regular boring bar* dan *customized boring bar neoprene rubber* berDVA 12 mm cenderung lebih rendah dibandingkan 320 Hz dan 450 Hz. Dan tetap terjadi peredaman pada semua sumbu x, y, dan z dengan peredaman terbesar terjadi pada sumbu x dengan variasi 1 DVA. Dapat dilihat bahwa pada frekuensi 720 Hz, pada sumbu y dan z memiliki amplitude yang hampir sama dengan *regular boring bar*.

Pada grafik ditunjukkan bahwa frekuensi natural dari boring bar yang terisi dva neoprene rubber 12 mm lebih kecil daripada boring bar regular, hal tersebut terjadi karena kekakuan boring bar yang terisi dva 12 mm yang dimiliki lebih besar daripada boring bar regular. Dengan nilai maksimal amplitude untuk 1 DVA 12 mm yakni 0,20821 pada frekuensi 368 Hz, lalu untuk 2 DVA 12 mm ialah 0,2153 pada frekuensi 357 Hz, dan untuk 3 DVA 12 mm ialah 0,27896 pada frekuensi 357 Hz. Trend tersebut terjadi karena boring bar customized memiliki kekakuan yang sama tetapi mempunyai massa yang berbeda. Dan trend grafik juga terjadi pada sumbu Y dan sumbu Z dengan bar dan grafik yang ditaruh di lampiran.



(a)



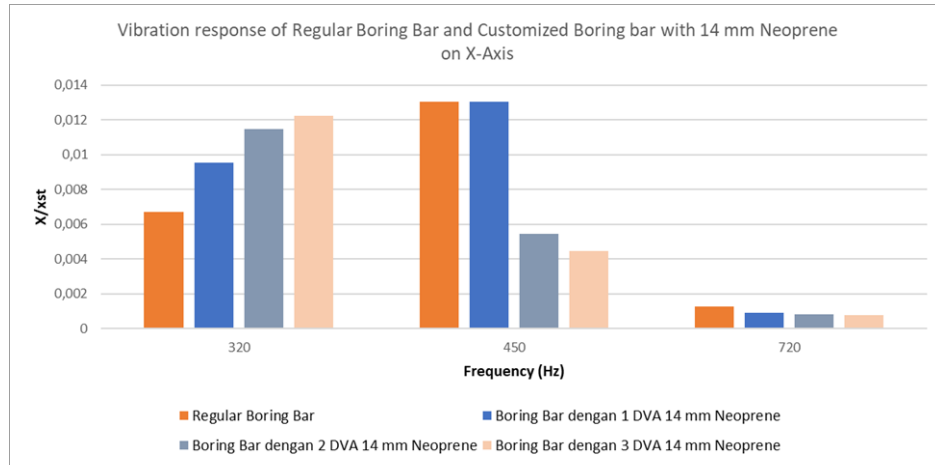
Gambar 4. 10 Picture of (a) Deformation of Regular Boring bar and (b) Deformation of Boring Bar with 12 mm Neoprene Rubber

4.2.2.5 Analisa Getaran Regular Boring Bar Terhadap Customized Boring Bar dengan DVA Neoprene Rubber 14 mm

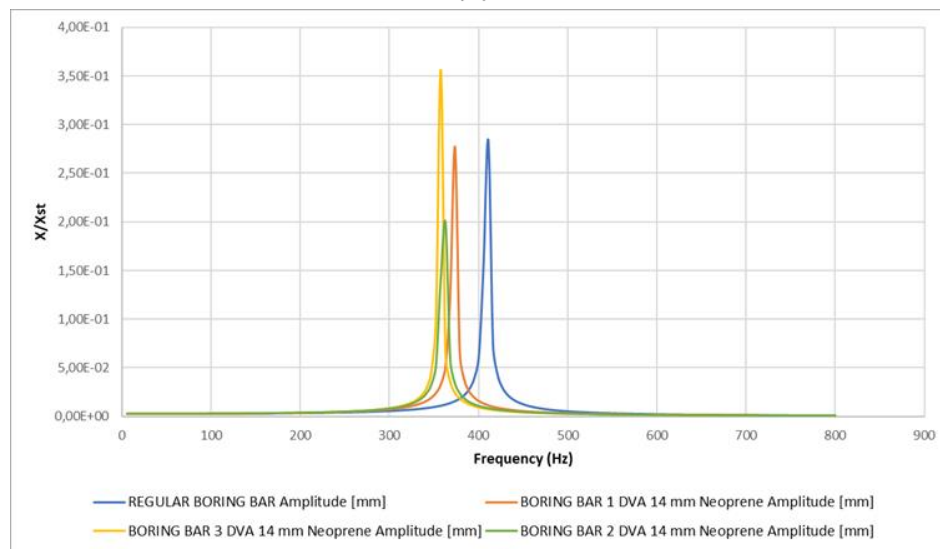
Tabel 4. 5 Vibration Response of Regular and Customized with DVA Neoprene Rubber 14 mm

AXIS	VARIASI	Operational Frequency (Hz)		
		320	450	720
X	Regular Boring Bar	0,00672	0,013047	0,001266
	Boring Bar dengan 1 DVA 14 mm Neoprene	0,00953	0,013047	0,000895
	Boring Bar dengan 2 DVA 14 mm Neoprene	0,011462	0,005441	0,000812
	Boring Bar dengan 3 DVA 14 mm Neoprene	0,012242	0,004458	0,000765
Y	Regular Boring Bar	0,26885	0,24236	0,029115
	Boring Bar dengan 1 DVA 14 mm Neoprene	0,32274	0,18267	0,030139
	Boring Bar dengan 2 DVA 14 mm Neoprene	0,39208	0,15084	0,027551
	Boring Bar dengan 3 DVA 14 mm Neoprene	0,45403	0,13503	0,026003
Z	Regular Boring Bar	0,082882	0,077947	0,010199
	Boring Bar dengan 1 DVA 14 mm Neoprene	0,10142	0,057886	0,009522
	Boring Bar dengan 2 DVA 14 mm Neoprene	0,12305	0,047844	0,008717
	Boring Bar dengan 3 DVA 14 mm Neoprene	0,1322	0,043676	0,008241

Pada table 4.5 dapat dilihat hasil dari proses simulasi melalui aplikasi *Ansys Workbench*. Dari data tersebut didapatkan grafik pada gambar 4.15 seperti berikut.



(a)



(b)

Gambar 4. 11 *Vibration Response of Regular Boring Bar and Customized Boring Bar with DVA Neoprene Rubber 14 mm at 320 Hz, 450 Hz, and 720 Hz at X-Axis in (a) as bar and (b) as graph*

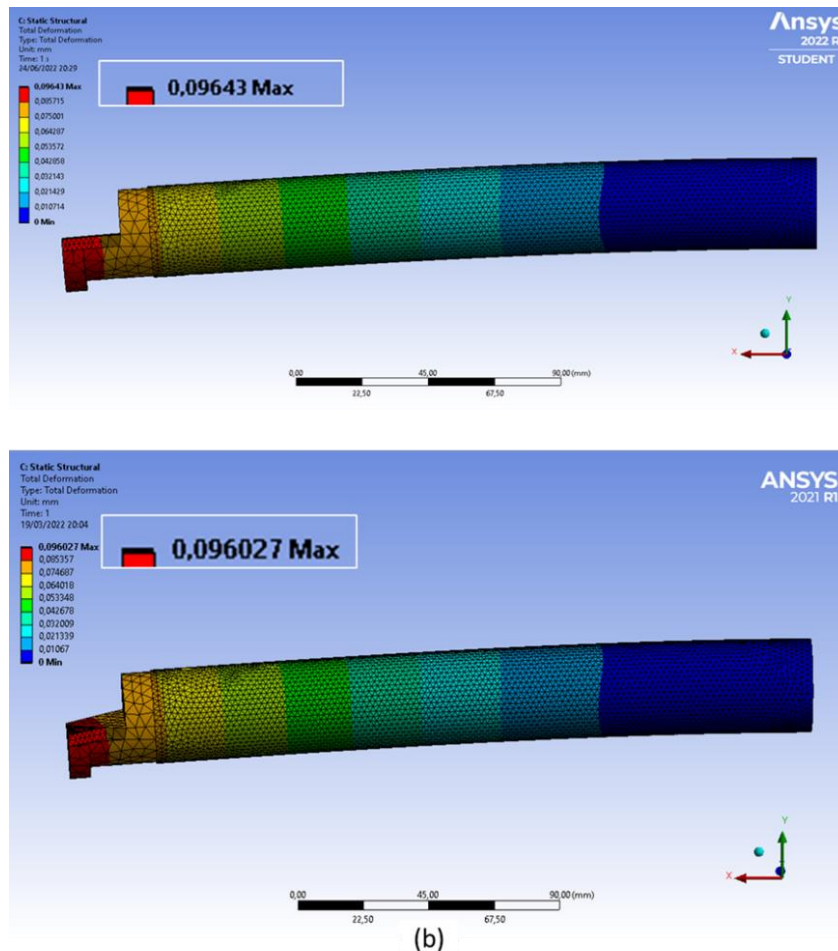
Dapat dilihat bahwa nilai respon getaran ketiga boring bar kustom karet *neoprene rubber* yang berdiameter 14 mm memiliki perbedaan dengan respon getaran *regular boring bar*, terlihat pada 3 macam frekuensi operasional yakni 320 Hz, 450 Hz, dan 720 Hz. Pada frekuensi operasional 320 Hz bahkan tidak meredam.

Pada frekuensi operasional 450 Hz memiliki nilai respon getaran yang berbeda. Pada boring bar kustom *neoprene rubber* berdiameter 14 mm mampu meredam getaran yang terjadi baik terhadap sumbu y dan z tetapi yang terbesar pada sumbu z dimana memiliki jarak terbesar antar bar *regular boring bar* dan *customized boring bar neoprene rubber* berDVA 14 mm kecuali pada sumbu x dengan variasi 1 DVA tidak meredam dengan nilai amplitude yang sama.

Dan pada frekuensi operasional 720 Hz memiliki perbedaan nilai respon getaran yang hampir sama. Hal ini dikarenakan frekuensi operasional yang diambil terletak setelah frekuensi natural dari boring bar, sehingga nilai amplitude *regular boring bar* dan *customized boring bar neoprene rubber* berDVA 14 mm cenderung lebih rendah dibandingkan 320 Hz dan 450 Hz. Dan tetap

terjadi peredaman pada semua sumbu x, y, dan z dengan peredaman terbesar terjadi pada sumbu x dengan variasi 1 DVA. Dapat dilihat bahwa pada frekuensi 720 Hz, pada sumbu y dan z memiliki amplitude yang hampir sama dengan *regular boring bar*.

Pada grafik ditunjukkan bahwa frekuensi natural dari boring bar yang terisi dva neoprene rubber 14 mm lebih kecil daripada boring bar regular, hal tersebut terjadi karena kekakuan boring bar yang terisi dva 14 mm yang dimiliki lebih besar daripada boring bar regular. Dengan nilai maksimal amplitude untuk 1 DVA 14 mm yakni 0,27656 pada frekuensi 373 Hz, lalu untuk 2 DVA 14 mm ialah 0,19888 pada frekuensi 362 Hz, dan untuk 3 DVA 14 mm ialah 0,35162 pada frekuensi 357 Hz. Trend tersebut terjadi karena boring bar customized memiliki kekakuan yang sama tetapi mempunyai massa yang berbeda. Dan trend grafik juga terjadi pada sumbu Y dan sumbu Z dengan bar dan grafik yang ditaruh di lampiran.



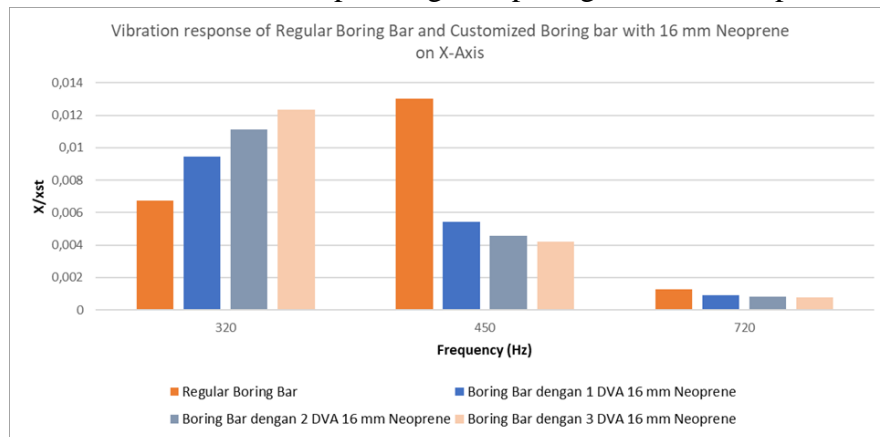
Gambar 4. 12 Picture of (a) Deformation of Regular Boring bar and (b) Deformation of Boring Bar with 14 mm Neoprene Rubber

4.2.2.6 Analisa Getaran *Regular Boring Bar* Terhadap *Customized Boring Bar* dengan DVA *Neoprene Rubber 16 mm*

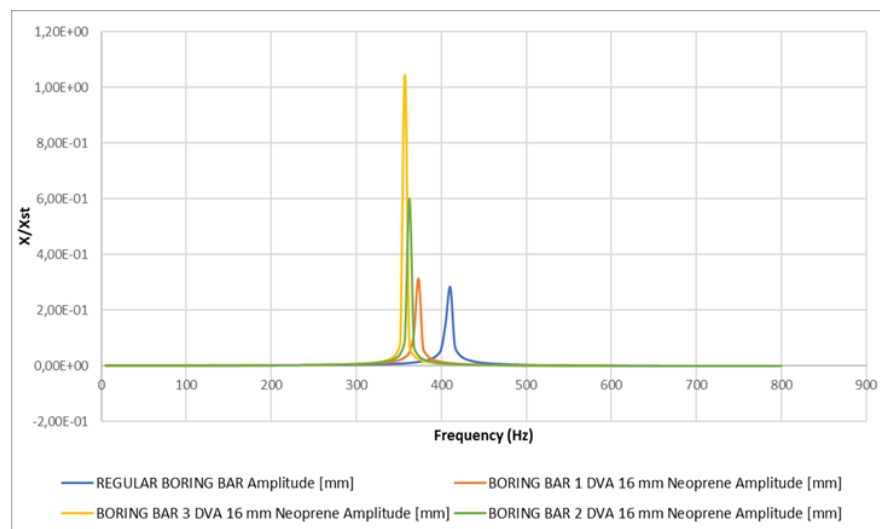
Tabel 4. 6 *Vibration Response of Regular and Customized with DVA Neoprene Rubber 16 mm*

AXIS	VARIASI	Operational Frequency (Hz)		
		320	450	720
X	Regular Boring Bar	0,00672	0,013047	0,001266
	Boring Bar dengan 1 DVA 16 mm Neoprene	0,009445	0,005428	0,000891
	Boring Bar dengan 2 DVA 16 mm Neoprene	0,011139	0,004563	0,000821
	Boring Bar dengan 3 DVA 16 mm Neoprene	0,012338	0,004195	0,000787
Y	Regular Boring Bar	0,26885	0,24236	0,029115
	Boring Bar dengan 1 DVA 16 mm Neoprene	0,32122	0,1827	0,030099
	Boring Bar dengan 2 DVA 16 mm Neoprene	0,38083	0,15432	0,027848
	Boring Bar dengan 3 DVA 16 mm Neoprene	0,42222	0,1422	0,026729
Z	Regular Boring Bar	0,082882	0,077947	0,010199
	Boring Bar dengan 1 DVA 16 mm Neoprene	0,10083	0,057928	0,009514
	Boring Bar dengan 2 DVA 16 mm Neoprene	0,11953	0,048946	0,008811
	Boring Bar dengan 3 DVA 16 mm Neoprene	0,13277	0,045127	0,008466

Pada table 4.6 dapat dilihat hasil dari proses simulasi melalui aplikasi *Ansys Workbench*. Dari data tersebut didapatkan grafik pada gambar 4.17 seperti berikut.



(a)



(b)

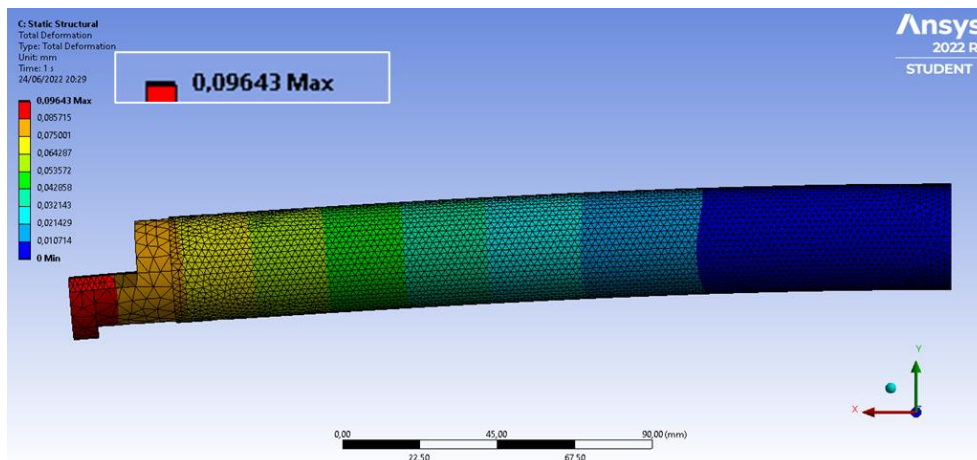
Gambar 4. 13 *Vibration Response of Regular Boring Bar and Customized Boring Bar with DVA Neoprene Rubber 16 mm at 320 Hz, 450 Hz, and 720 Hz at X-Axis in (a) as bar and (b) as graph*

Dapat dilihat bahwa nilai respon getaran ketiga boring bar kustom karet *neoprene rubber* yang berdiameter 16 mm memiliki perbedaan dengan respon getaran *regular boring bar*, terlihat pada 3 macam frekuensi operasional yakni 320 Hz, 450 Hz, dan 720 Hz. Pada frekuensi operasional 320 Hz bahkan tidak meredam.

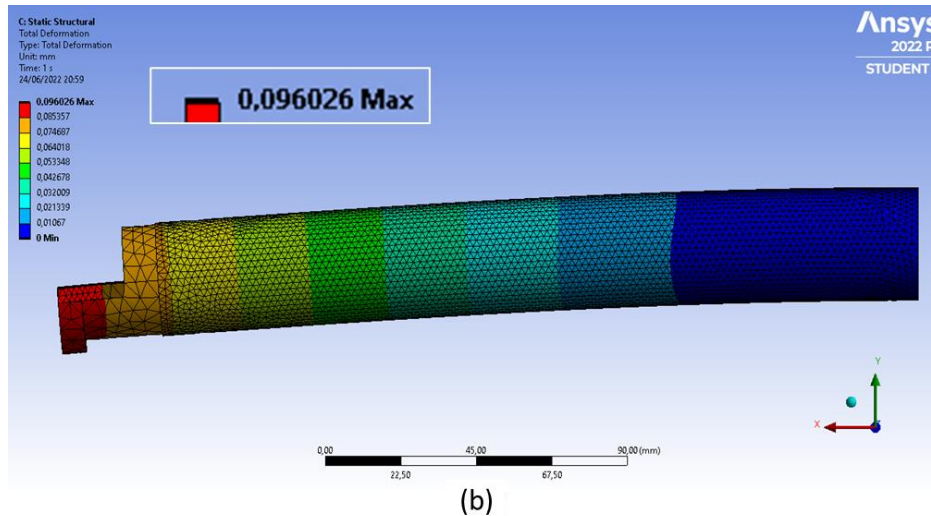
Pada frekuensi operasional 450 Hz memiliki nilai respon getaran yang berbeda. Pada boring bar kustom *neoprene rubber* berdiameter 16 mm mampu meredam getaran yang terjadi baik terhadap sumbu x, y, dan z tetapi yang terbesar pada sumbu x dimana memiliki jarak terbesar antar bar *regular boring bar* dan *customized boring bar neoprene rubber* berDVA 16 mm.

Dan pada frekuensi operasional 720 Hz memiliki perbedaan nilai respon getaran yang hampir sama. Hal ini dikarenakan frekuensi operasional yang diambil terletak setelah frekuensi natural dari boring bar, sehingga nilai amplitude *regular boring bar* dan *customized boring bar neoprene rubber* berDVA 16 mm cenderung lebih rendah dibandingkan 320 Hz dan 450 Hz. Dan tetap terjadi peredaman pada semua sumbu x, y, dan z. Dapat dilihat bahwa pada frekuensi 720 Hz, pada sumbu x, y, dan z memiliki amplitude yang hampir sama dengan *regular boring bar*.

Pada grafik ditunjukkan bahwa frekuensi natural dari boring bar yang terisi dva neoprene rubber 16 mm lebih kecil daripada boring bar regular, hal tersebut terjadi karena kekakuan boring bar yang terisi dva 16 mm yang dimiliki lebih besar daripada boring bar regular. Dengan nilai maksimal amplitude untuk 1 DVA 16 mm yakni 2,9317 pada frekuensi 373 Hz, lalu untuk 2 DVA 16 mm ialah 0,31315 pada frekuensi 362 Hz, dan untuk 3 DVA 16 mm ialah 1,0467 pada frekuensi 357 Hz. Trend tersebut terjadi karena boring bar customized memiliki kekakuan yang sama tetapi mempunyai massa yang berbeda. Dan trend grafik juga terjadi pada sumbu Y dan sumbu Z dengan bar dan grafik yang ditaruh di lampiran.



(a)



Gambar 4. 14 Picture of (a) Deformation of Regular Boring bar and (b) Deformation of Boring Bar with 16 mm Neoprene Rubber

4.3 Analisa Reduksi Getaran

Analisa reduksi getaran pada *customized boring bar dva* dengan 1 bola, 2 bola, dan 3 bola dan dilapisi karet dengan diameter 12 mm, 14 mm, dan 16 mm, dengan variasi karet neophrene dan karet natural terhadap *regular boring bar* pada frekuensi 0 – 800 Hz. Analisa reduksi getaran dilakukan pada frekuensi operasional 320, 450 dan 720 Hz.

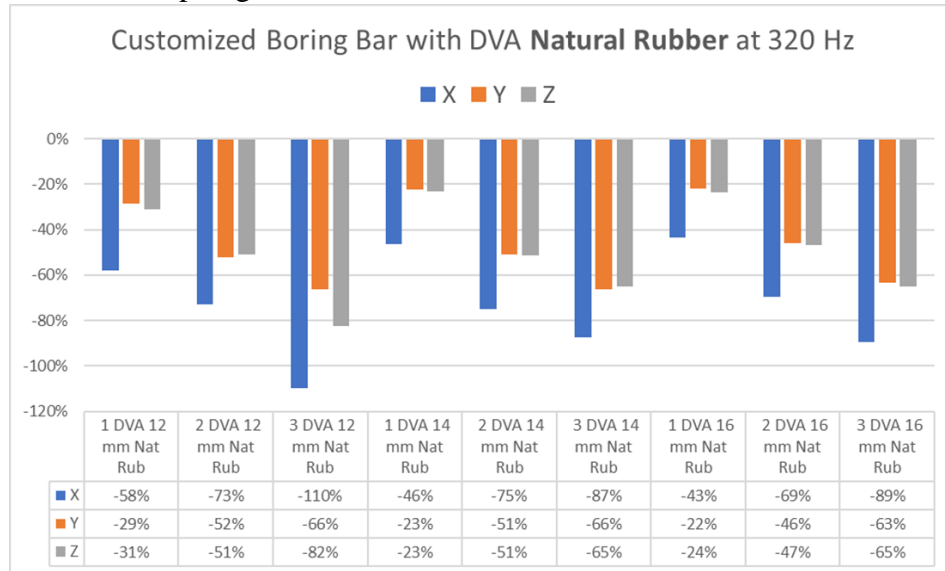
4.3.1 Analisa Reduksi Getaran Frekuensi 320 Hz

Tabel 4. 7 *Vibration Reduction Frequency 320 Hz*

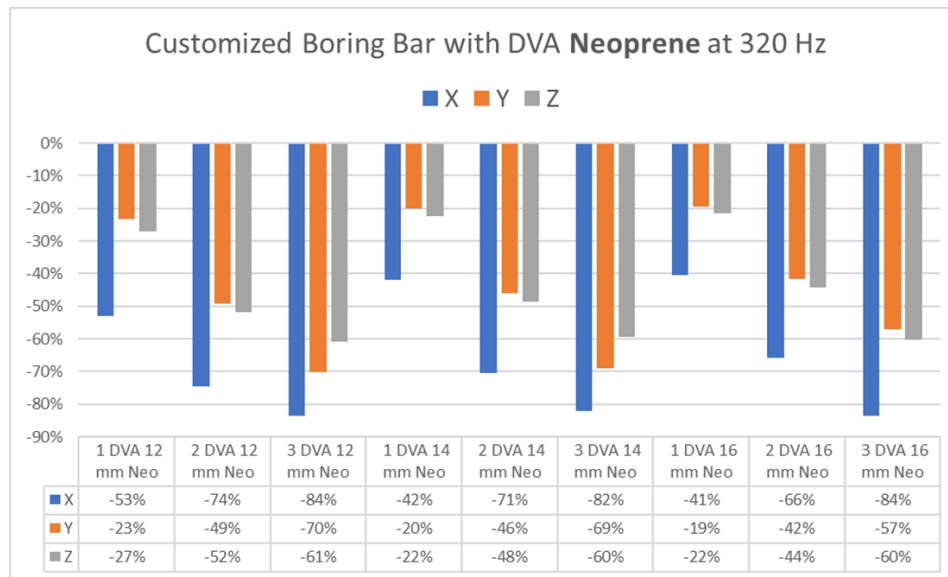
Frequency (Hz)	VARIASI	Respon dengan DVA			Respon Regular Boring Bar			Reduksi		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
320	Boring Bar dengan 1 DVA 12 mm Natural Rubber	0,010611	0,34553	0,10859	0,00672	0,26885	0,082882	-58%	-29%	-31%
	Boring Bar dengan 2 DVA 12 mm Natural Rubber	0,011611	0,40883	0,125				-73%	-52%	-51%
	Boring Bar dengan 3 DVA 12 mm Natural Rubber	0,014086	0,44665	0,15119				-110%	-66%	-82%
	Boring Bar dengan 1 DVA 14 mm Natural Rubber	0,009839	0,32938	0,10203				-46%	-23%	-23%
	Boring Bar dengan 2 DVA 14 mm Natural Rubber	0,011744	0,40538	0,12555				-75%	-51%	-51%
	Boring Bar dengan 3 DVA 14 mm Natural Rubber	0,012595	0,44665	0,13663				-87%	-66%	-65%
	Boring Bar dengan 1 DVA 16 mm Natural Rubber	0,009633	0,32796	0,1024				-43%	-22%	-24%
	Boring Bar dengan 2 DVA 16 mm Natural Rubber	0,011381	0,39262	0,12162				-69%	-46%	-47%
	Boring Bar dengan 3 DVA 16 mm Natural Rubber	0,012731	0,43912	0,13689				-89%	-63%	-65%
	Boring Bar dengan 1 DVA 12 mm Neoprene	0,010274	0,33176	0,10541				-53%	-23%	-27%
	Boring Bar dengan 2 DVA 12 mm Neoprene	0,011718	0,401	0,12583				-74%	-49%	-52%
	Boring Bar dengan 3 DVA 12 mm Neoprene	0,01234	0,45762	0,1333				-84%	-70%	-61%
	Boring Bar dengan 1 DVA 14 mm Neoprene	0,00953	0,32274	0,10142				-42%	-20%	-22%
	Boring Bar dengan 2 DVA 14 mm Neoprene	0,011462	0,39208	0,12305				-71%	-46%	-48%
	Boring Bar dengan 3 DVA 14 mm Neoprene	0,012242	0,45403	0,1322				-82%	-69%	-60%
	Boring Bar dengan 1 DVA 16 mm Neoprene	0,009445	0,32122	0,10083				-41%	-19%	-22%
	Boring Bar dengan 2 DVA 16 mm Neoprene	0,011139	0,38083	0,11953				-66%	-42%	-44%
	Boring Bar dengan 3 DVA 16 mm Neoprene	0,012338	0,42222	0,13277				-84%	-57%	-60%

Pada tabel 4.7 diatas hasil reduksi getaran, dapat dilihat pada frekuensi operasi 320 Hz. Pada sumbu X, Y, maupun Z semua desain boring bar kustom tidak mampu meredam getaran dengan baik. Pada sumbu X, Y, maupun Z boring bar kustom dengan 1 DVA 16 mm dengan karet *neophrene* memiliki prosentasi redaman terbaik dibandingkan dengan desain lain. Hal ini disebabkan karena desain tersebut memiliki kekakuan yang lebih dibandingkan dengan *regular boring bar* dan memiliki cavity yang lebih pendek diantara varian 2 DVA dan 3 DVA. Sedangkan untuk desain terburuk adalah 3 DVA 12 mm karet natural. Hal ini disebabkan karena

boring bar memiliki *cavity* lebih Panjang dibandingkan yang 1 DVA dan 2 DVA dan karena putaran pada frekuensi tersebut masih dianggap memasuki awal frekuensi natural maka semua dianggap memasuki respon getaran terbesar.



(a)



(b)

Gambar 4. 15 Reduction Percentage of Boring Bar variation at 320 Hz with DVA (a) Natural Rubber and (b) Neoprene Rubber

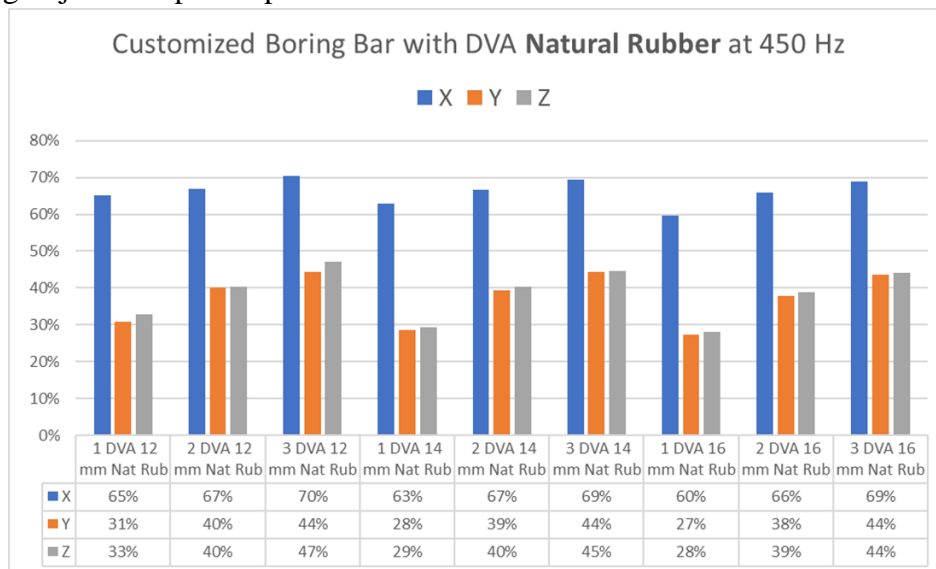
Dari gambar 4.19 dapat dilihat bahwa desain tidak meredam pada frekuensi tersebut dan yang mempunyai persentase minimal dari semua variasi untuk proses permesinan pada frekuensi 320 Hz adalah *costumized boring bar* dengan 1 DVA 16 mm karet *neophrene* dimana pada sumbu X (radial) sebesar -41%, sumbu Y (tangensial) sebesar -19%, dan sumbu Z (aksial) sebesar -22%.

4.3.2 Analisa Reduksi Getaran Frekuensi 450 Hz

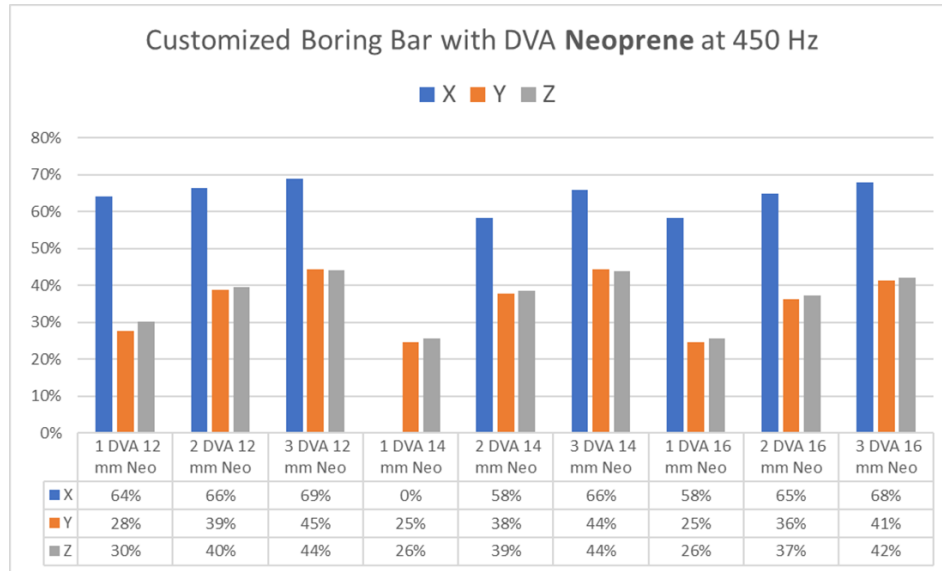
Tabel 4. 8 *Vibration Reduction Frequency 450 Hz*

Frequency (Hz)	VARIASI	Respon dengan DVA			Respon Regular Boring Bar			Reduksi		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
450	Boring Bar dengan 1 DVA 12 mm Natural Rubber	0,004563	0,16737	0,052325	0,013047	0,24236	0,077947	65%	31%	33%
	Boring Bar dengan 2 DVA 12 mm Natural Rubber	0,00433	0,1453	0,046568				67%	40%	40%
	Boring Bar dengan 3 DVA 12 mm Natural Rubber	0,003851	0,13482	0,041313				70%	44%	47%
	Boring Bar dengan 1 DVA 14 mm Natural Rubber	0,004825	0,17336	0,055146				63%	28%	29%
	Boring Bar dengan 2 DVA 14 mm Natural Rubber	0,004353	0,14723	0,04652				67%	39%	40%
	Boring Bar dengan 3 DVA 14 mm Natural Rubber	0,003989	0,13482	0,043238				69%	44%	45%
	Boring Bar dengan 1 DVA 16 mm Natural Rubber	0,005272	0,17604	0,056026				60%	27%	28%
	Boring Bar dengan 2 DVA 16 mm Natural Rubber	0,00446	0,15074	0,047644				66%	38%	39%
	Boring Bar dengan 3 DVA 16 mm Natural Rubber	0,004049	0,13667	0,043515				69%	44%	44%
	Boring Bar dengan 1 DVA 12 mm Neoprene	0,00468	0,1755	0,05435				64%	28%	30%
	Boring Bar dengan 2 DVA 12 mm Neoprene	0,004383	0,14833	0,047048				66%	39%	40%
	Boring Bar dengan 3 DVA 12 mm Neoprene	0,004034	0,13443	0,04347				69%	45%	44%
	Boring Bar dengan 1 DVA 14 mm Neoprene	0,013047	0,18267	0,057886				0%	25%	26%
	Boring Bar dengan 2 DVA 14 mm Neoprene	0,005441	0,15084	0,047844				58%	38%	39%
	Boring Bar dengan 3 DVA 14 mm Neoprene	0,004458	0,13503	0,043676				66%	44%	44%
	Boring Bar dengan 1 DVA 16 mm Neoprene	0,005428	0,1827	0,057928				58%	25%	26%
	Boring Bar dengan 2 DVA 16 mm Neoprene	0,004563	0,15432	0,048946				65%	36%	37%
	Boring Bar dengan 3 DVA 16 mm Neoprene	0,004195	0,1422	0,045127				68%	41%	42%

Pada tabel 4.8 diatas hasil reduksi getaran, dapat dilihat pada frekuensi operasi 450 Hz. Pada sumbu X, Y, maupun Z semua desain boring bar kustom mampu meredam getaran dengan baik. Pada sumbu X, Y, maupun Z. Boring bar kustom 3 DVA 12 mm dengan karet *neophrene* dan *natural* memiliki prosentasi redaman tertinggi dibandingkan dengan desain lain. Hal ini disebabkan karena desain tersebut memiliki 3 DVA dengan massa besar yang memenuhi semua *cavity* sehingga memiliki respon getaran yang sangat rendah. Sedangkan untuk desain terburuk adalah 1 DVA 14 mm karet *neoprene*. Hal ini disebabkan karena boring bar memiliki kekakuan yang mendekati *regular boring bar* dan hanya memiliki 1 DVA sehingga kurang mampu meredam getaran yang terjadi saat proses permesinan.



(a)



(b)

Gambar 4. 16 Reduction Percentage of Boring Bar variation at 450 Hz with DVA (a) Natural Rubber and (b) Neoprene Rubber

Dari gambar 4.20 dapat dilihat bahwa desain yang paling bagus untuk proses pemesinan pada frekuensi 450 Hz adalah *costumized boring bar* dengan 3 dva 12 mm karet *natural* dimana dapat meredam pada sumbu X sebesar 70%, sumbu Y sebesar 44%, dan sumbu Z sebesar 47%. Dan 3 dva 12 mm karet *neoprene* dapat meredam pada sumbu X sebesar 69%, sumbu Y sebesar 45%, dan sumbu Z sebesar 44%.

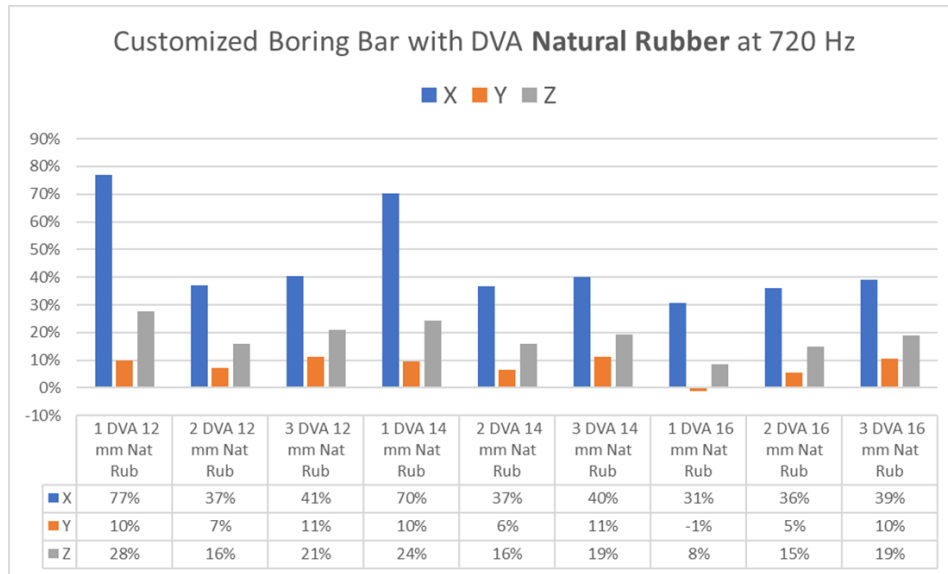
4.3.3 Analisa Reduksi Getaran Frekuensi 720 Hz

Tabel 4. 9 *Vibration Reduction Frequency 720 Hz*

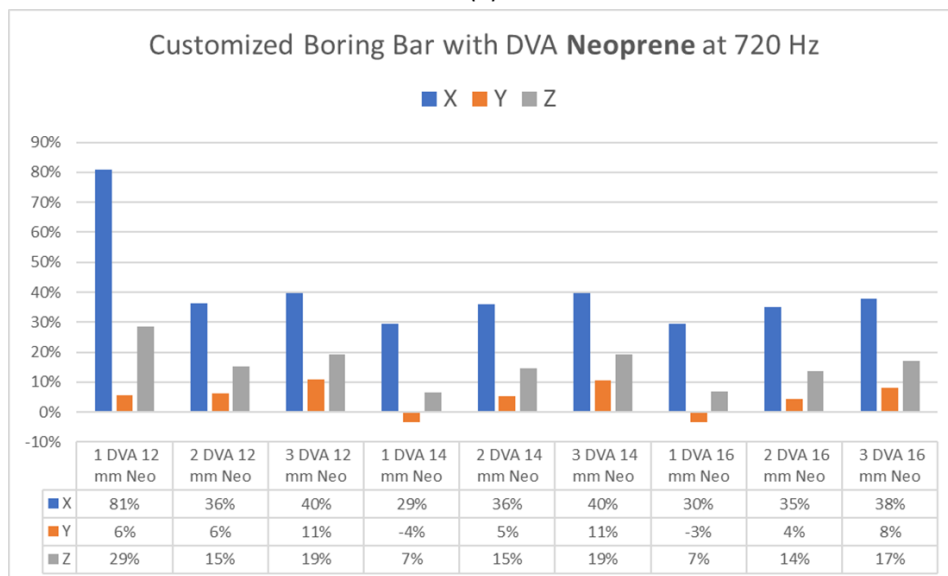
Frequency (Hz)	VARIASI	Respon dengan DVA			Respon Regular Boring Bar			Reduksi		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
720	Boring Bar dengan 1 DVA 12 mm Natural Rubber	0,000294	0,026234	0,007365	0,001266	0,029115	0,010199	77%	10%	28%
	Boring Bar dengan 2 DVA 12 mm Natural Rubber	0,000796	0,027005	0,008566				37%	7%	16%
	Boring Bar dengan 3 DVA 12 mm Natural Rubber	0,000753	0,025891	0,008077				41%	11%	21%
	Boring Bar dengan 1 DVA 14 mm Natural Rubber	0,000375	0,026302	0,007737				70%	10%	24%
	Boring Bar dengan 2 DVA 14 mm Natural Rubber	0,000802	0,027237	0,008568				37%	6%	16%
	Boring Bar dengan 3 DVA 14 mm Natural Rubber	0,000759	0,025891	0,008228				40%	11%	19%
	Boring Bar dengan 1 DVA 16 mm Natural Rubber	0,000878	0,029505	0,009337				31%	-1%	8%
	Boring Bar dengan 2 DVA 16 mm Natural Rubber	0,000811	0,027544	0,008666				36%	5%	15%
	Boring Bar dengan 3 DVA 16 mm Natural Rubber	0,00077	0,026093	0,008274				39%	10%	19%
	Boring Bar dengan 1 DVA 12 mm Neoprene	0,000243	0,027438	0,007289				81%	6%	29%
	Boring Bar dengan 2 DVA 12 mm Neoprene	0,000806	0,027331	0,008648				36%	6%	15%
	Boring Bar dengan 3 DVA 12 mm Neoprene	0,000763	0,025946	0,008224				40%	11%	19%
	Boring Bar dengan 1 DVA 14 mm Neoprene	0,000895	0,030139	0,009522				29%	-4%	7%
	Boring Bar dengan 2 DVA 14 mm Neoprene	0,000812	0,027551	0,008717				36%	5%	15%
	Boring Bar dengan 3 DVA 14 mm Neoprene	0,000765	0,026003	0,008241				40%	11%	19%
	Boring Bar dengan 1 DVA 16 mm Neoprene	0,000891	0,030099	0,009514				30%	-3%	7%
	Boring Bar dengan 2 DVA 16 mm Neoprene	0,000821	0,027848	0,008811				35%	4%	14%
	Boring Bar dengan 3 DVA 16 mm Neoprene	0,000787	0,026729	0,008466				38%	8%	17%

Pada tabel 4.9 diatas hasil reduksi getaran, dapat dilihat pada frekuensi operasi 720 Hz. Pada sumbu X, Y, maupun Z hampir desain boring bar kustom mampu meredam getaran dengan baik. Pada sumbu X, Y, maupun Z boring bar kustom 1 DVA 12 mm dengan karet *neophrene* dan *natural* memiliki prosentasi redaman tertinggi dibandingkan dengan desain lain pada sumbu X. Hal ini disebabkan karena desain tersebut memiliki nilai kekakuan terbesar sehingga memiliki

respon getaran yang sangat rendah. Sedangkan untuk desain terburuk adalah 1 DVA 14 mm karet *neoprene*. Hal ini disebabkan karena boring bar memiliki kekakuan yang mendekati *regular boring bar* dan hanya memiliki 1 DVA sehingga kurang mampu meredam getaran yang terjadi saat proses permesinan.



(a)



(b)

Gambar 4. 17 Reduction Percentage of Boring Bar variation at 720 Hz with DVA (a) Natural Rubber and (b) Neoprene Rubber

Dari gambar 4.17 dapat dilihat bahwa desain yang paling bagus untuk proses permesinan pada frekuensi 720 Hz adalah *costumized boring bar* dengan 1 dva 12 mm karet *natural* dimana dapat meredam pada sumbu X sebesar 70%, sumbu Y sebesar 44%, dan sumbu Z sebesar 47%. Dan 1 dva 12 mm karet *neoprene* dapat meredam pada sumbu X sebesar 81%, sumbu Y sebesar 6%, dan sumbu Z sebesar 29%.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Telah dirancang boring bar dengan material AISI 1045 dengan rasio L/D 8 yang memiliki panjang overall 256 mm dengan diameter luar sebesar 32 mm dan memiliki diameter dalam sebesar 24 mm. Panjang dari *cavity* divariasikan menjadi 3 yaitu sepanjang 24 mm, 48 mm, dan 72 mm sebagai tempat peletakan *dynamic vibration absorber*. DVA memiliki bentuk bola yang menggunakan material *bearing steel* dengan diameter 10 mm dan akan diselimuti dengan karet yang memiliki diameter luar 12 mm, 14 mm, dan 16 mm. Karet divariasikan menjadi 2 jenis yaitu karet *neophrene* dan karet natural. *Assembly* bola dan karet akan diletakkan pada *housing* yang memiliki diameter luar sebesar 24 mm sehingga memiliki suaiian pas antara DVA dengan *cavity* pada boring bar.
2. Semakin besar nilai panjang *cavity* akan membuat kekakuan pada boring bar semakin kecil. Apabila suatu boring bar diberi *cavity* dan perbandingan antara kekakuan boring bar kustom dengan boring bar standar $> 95\%$, maka boring bar kustom mampu meredam lebih baik dan memiliki frekuensi natural yang bergeser ke kanan. Apabila perbandingan memiliki nilai $< 95\%$ maka respon getaran boring bar kustom memiliki nilai yang lebih besar dari boring bar standar.
3. Pada penelitian ini didapatkan bahwa semakin bertambahnya jumlah dan diameter DVA, maka respon getaran yang didapatkan semakin kecil karena nilai kekakuan boring bar berubah.
4. Karet natural dan karet *neophrene* memiliki kemampuan redaman yang lebih baik pada putaran spindle yang relatif kecil / frekuensi operasional yang besar.
5. Didapatkan hasil desain yang memiliki persentase peredaman optimal pada frekuensi 450 Hz ialah 3 DVA 12 mm untuk karet Natural (70% pada sumbu X, 44% pada sumbu Y, dan 47% pada sumbu Z) dan *Neoprene* (69% pada sumbu X, 45% pada sumbu Y, dan 47% pada sumbu Z). Dan pada frekuensi 720 Hz ialah 1 DVA 12 mm untuk karet Natural (77% pada sumbu X, 10% pada sumbu Y, dan 28% pada sumbu Z) dan *Neoprene* (81% pada sumbu X, 6% pada sumbu Y, dan 29% pada sumbu Z).

5.2 Saran

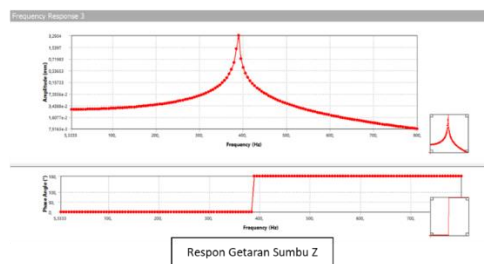
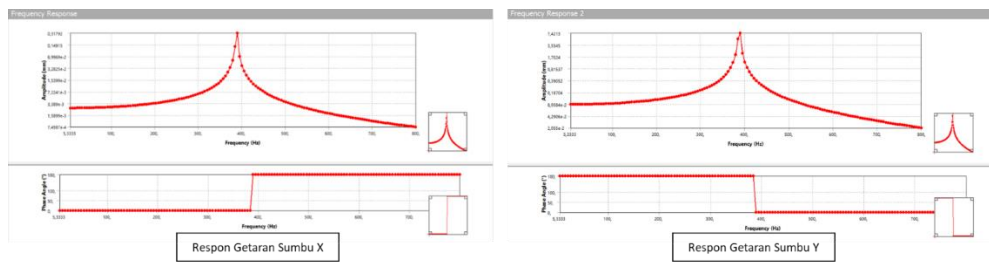
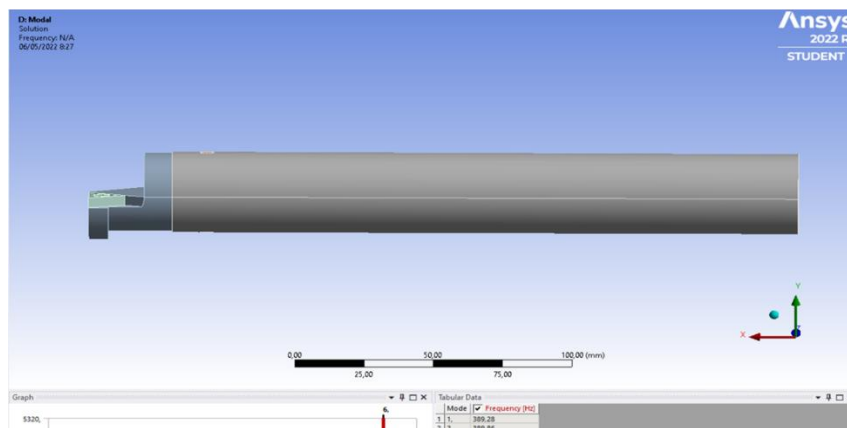
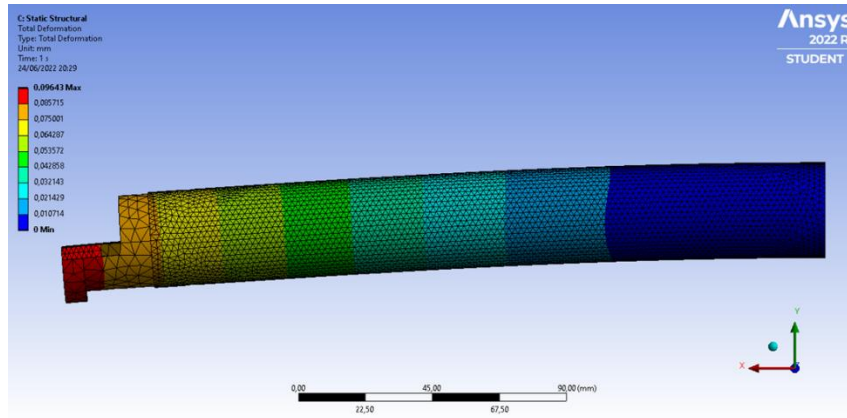
1. Menambah variasi *frekuensi operasional* yang lebih banyak agar mendapat daerah redaman stabil pada berbagai kondisi.
2. Melakukan validasi dengan dilakukan eksperimen terhadap penggunaan DVA yang sesuai jumlah yang diteliti agar mendapatkan keakuratan yang terdekat

DAFTAR PUSTAKA

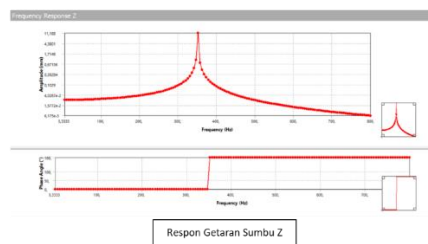
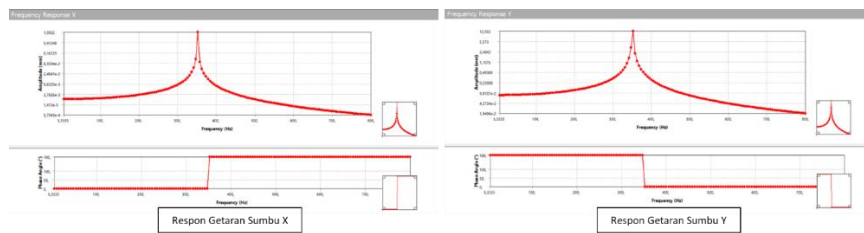
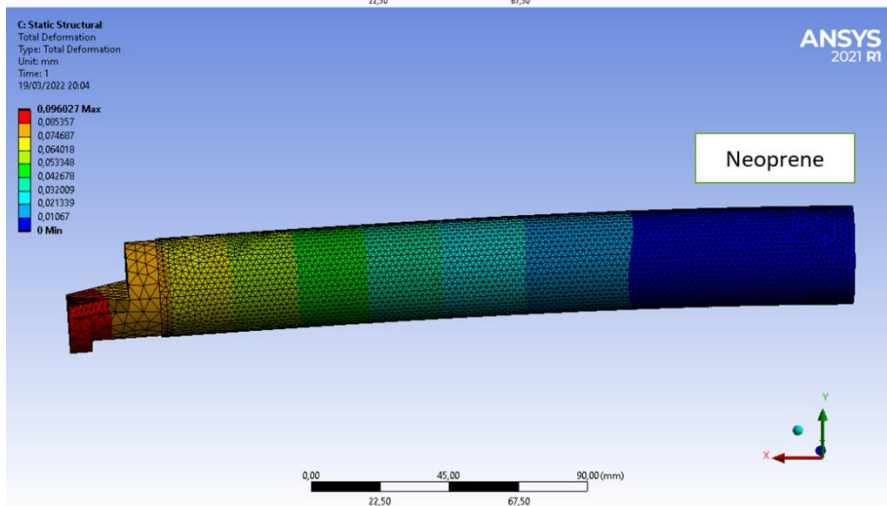
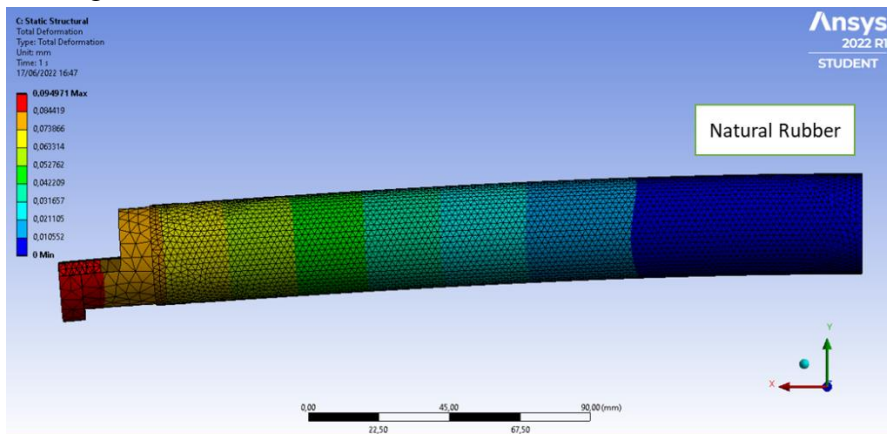
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2009). *Manufacturing Engineering and Technology Sixth Edition in SI Units*. Chicago: Pearson.
- Rao, S. S. (2011). *Mechanical Vibration Fifth Edition*. Amerika: Prentice Hall.
- Reno, H. P. (2020). Pemodelan dan Simulasi Pengaruh Kekakuan Karet DVA Pada Boring Bar Terhadap Reduksi Getaran Boring Bar Pada Proses Permesinan.
- Muhammad, I. N. (2020). Studi Eksperimental dan Analisa Reduksi Respon Getaran pada *Boring Bar* dengan DVA jenis *Rubber* serta Efek *Chatter* pada Proses Pengeboran dengan Mesin Bubut.
- Chaari, Riadh & Djemal, Fathi. (2016). *Experimental Study of Passive Vibration Suppression using Absorber with Spherical Ball Impact Damper*.
- Lawrance, G. (2020). *Influence of Stainless Steel Impact Damper on Tribological Properties during Boring Process*
- Zalewski, Mateusz & Zalewski, Robert. (2020). *Damping of Beam Vibrations Using Tuned Particles Impact Damper*

LAMPIRAN

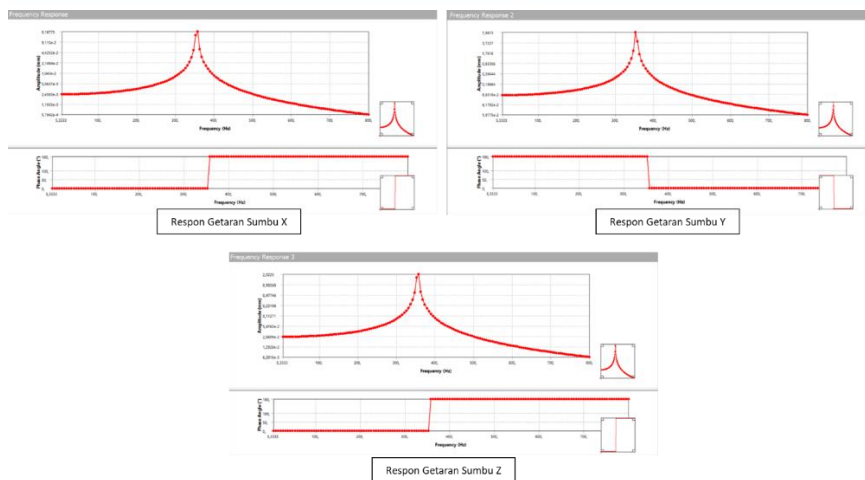
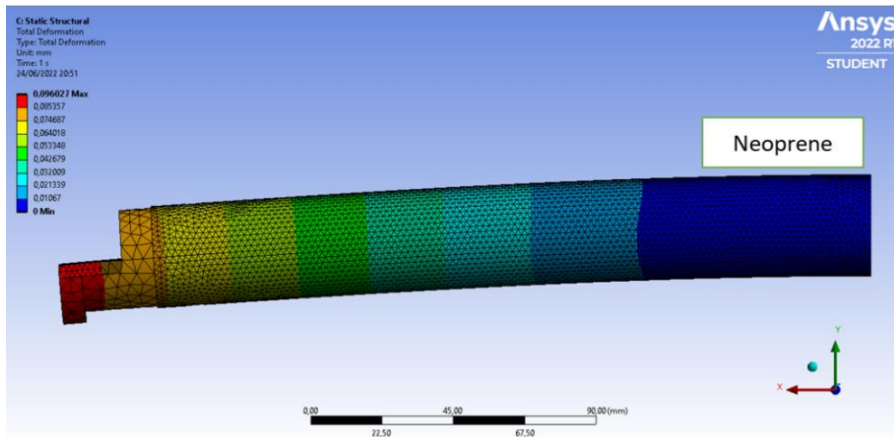
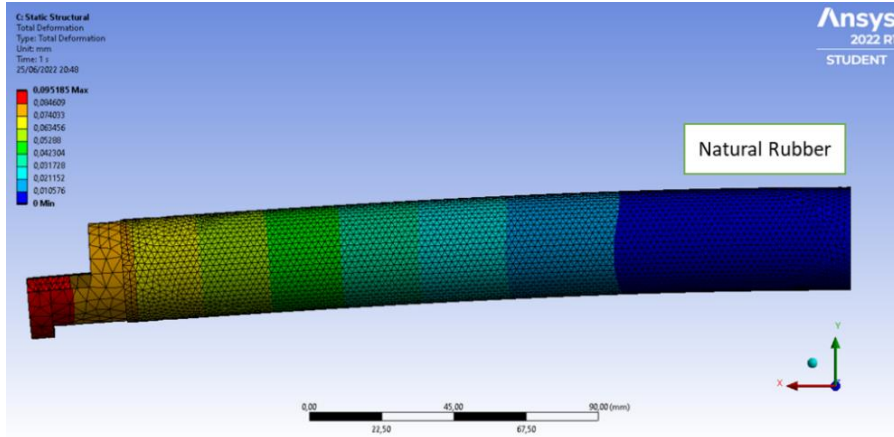
1. Regular Boring Bar



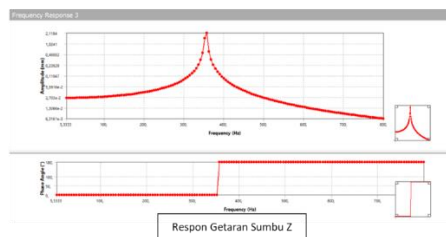
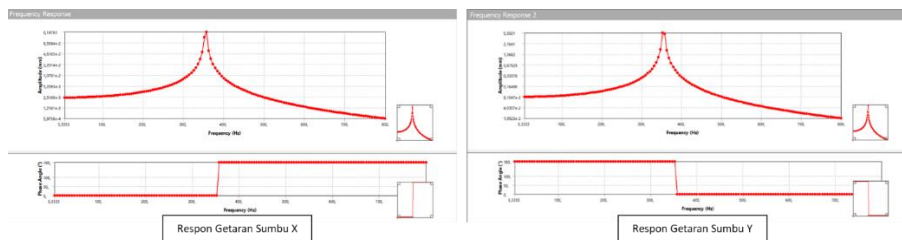
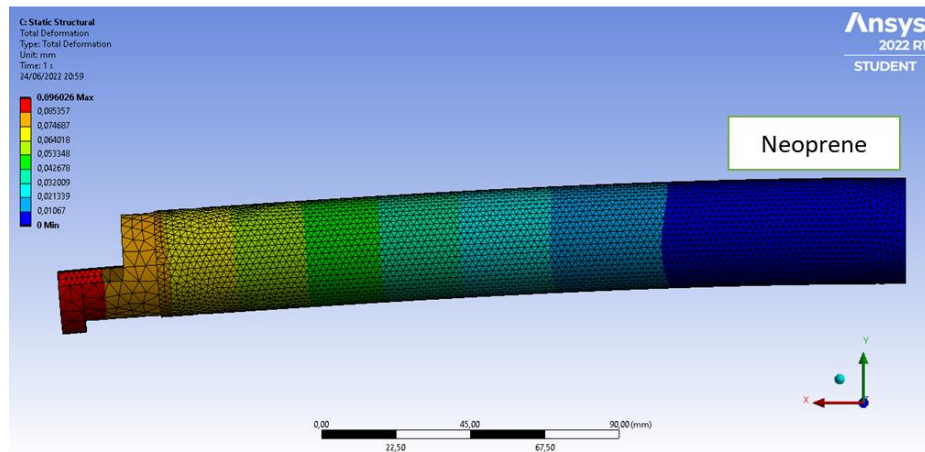
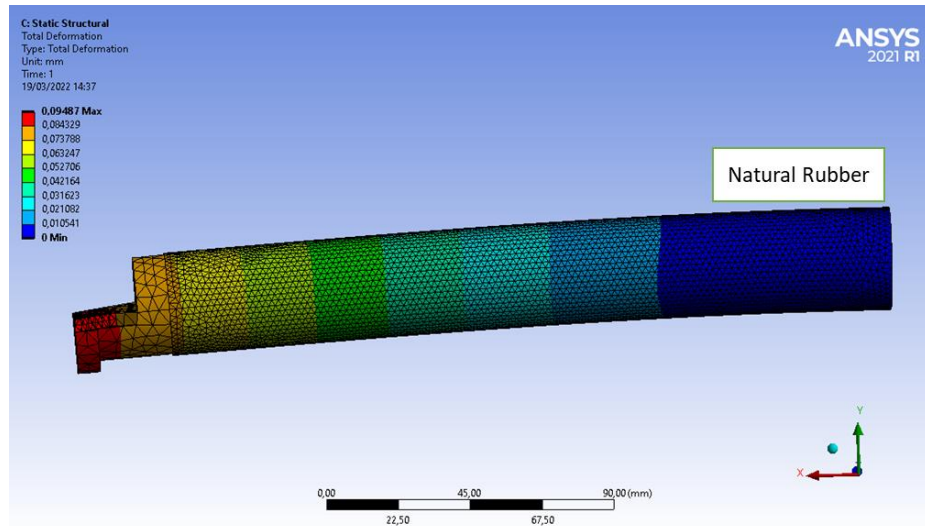
2. Boring Bar DVA 12 mm



3. Boring Bar DVA 14 mm



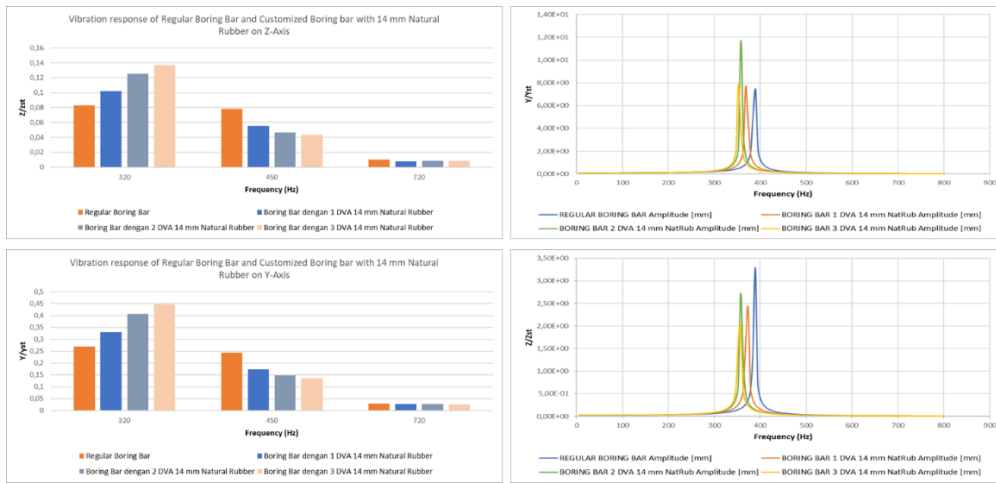
4. Boring Bar DVA 16 mm



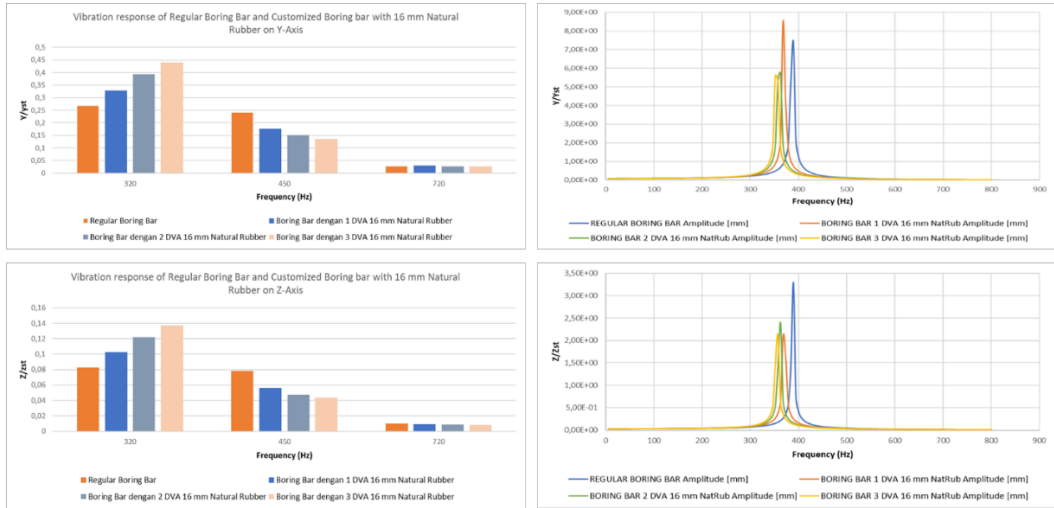
5. Sumbu Y dan Sumbu Z Bar dan Grafik 12 mm Natural Rubber



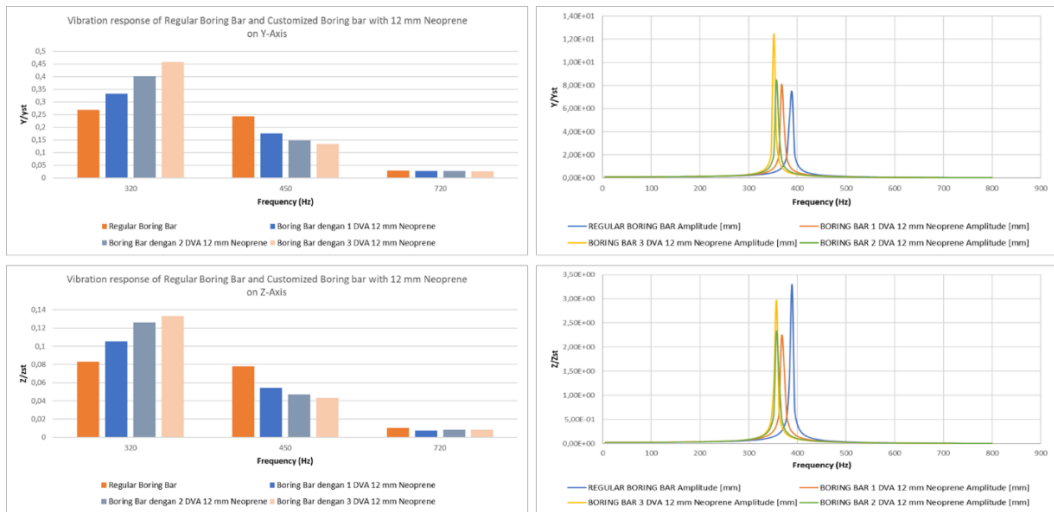
6. Sumbu Y dan Sumbu Z Bar dan Grafik 14 mm Natural Rubber



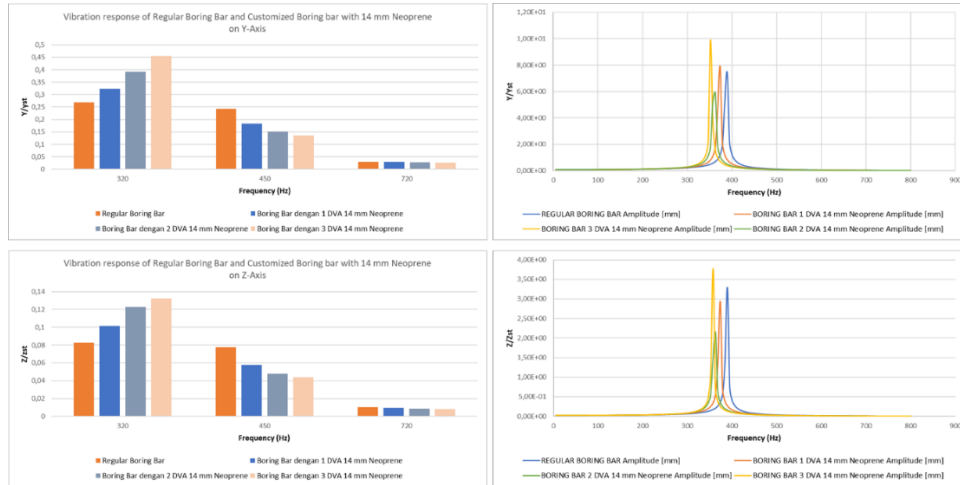
7. Sumbu Y dan Sumbu Z Bar dan Grafik 16 mm Natural Rubber



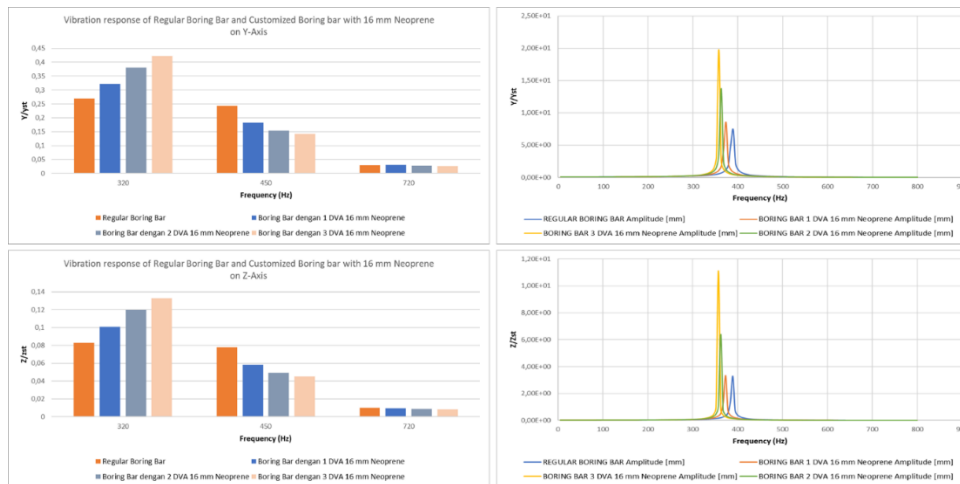
8. Sumbu Y dan Sumbu Z Bar dan Grafik 12 mm Neoprene Rubber



9. Sumbu Y dan Sumbu Z Bar dan Grafik 14 mm Neoprene Rubber



10. Sumbu Y dan Sumbu Z Bar dan Grafik 16 mm Neoprene Rubber



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 24 April 1999, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal mulai dari TK Al Muslim Sidoarjo, SD Al Muslim Sidoarjo, SMP Al Hikmah Surabaya, SMA Al Hikmah Surabaya. Setelah lulus dari SMA Al Hikmah Surabaya, Penulis diterima di Jurusan Teknik Mesin FTIRS ITS melalui jalur Mandiri dan terdaftar dengan NRP. 02111740000166.

Penulis aktif dibidang akademik maupun non-akademik selama berkuliah di kampus. Dibidang akademik di Jurusan Teknik Mesin Penulis mempelajari Bidang Studi Rekayasa Vibrasi. Penulis aktif sebagai Asisten Praktikum Mekanika Getaran. Dibidang non-akademik Penulis aktif sebagai Panitia acara Fakultas FTIRS ITS. Untuk informasi lebih lanjut mengenai penelitian ini beserta kritik dapat menghubungi penulis melalui email: attaka2404@outlook.com