

**ANALISIS DAN PENGENDALIAN VIBRASI PADA UNIVERSAL SHAFT  
DAN SPINDLE SUPPORT STAND *ROLLING MILL***

**TESIS**

**Oleh :**

**ANDRIYANTO  
NPM 2125021007**



**MAGISTER TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

**ANALISIS DAN PENGENDALIAN VIBRASI PADA UNIVERSAL SHAFT  
DAN SPINDLE SUPPORT STAND *ROLLING MILL***

**Oleh:**

**ANDRIYANTO**

**Tesis**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
MAGISTER TEKNIK**

**Pada**

**Program Pascasarjana Magister Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

## ABSTRAK

### ANALISIS DAN PENGENDALIAN VIBRASI PADA UNIVERSAL SHAFT DAN SPINDLE SUPPORT STAND *ROLLING MILL*

Oleh

ANDRIYANTO

Baja tulangan dan beton merupakan komponen yang umum dipergunakan pada proyek pembangunan gedung bertingkat, jembatan, rumah dan lain-lainya. Baja tulangan dapat dibuat menggunakan proses *rolling* atau pengerollan. Pada proses rolling sering terjadi vibrasi yang tinggi, terutama pada area *finishing mill* yang bekerja pada kecepatan 18-21 m/s dengan rotasi motor 1000 – 1300 rpm. Kerusakan terjadi pada *spindle support, stand* hingga *missroll* (kegagalan proses *rolling*). Nilai RMS kecepatan vibrasi yang diharapkan yaitu  $< 20\text{mm/s}$ . Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kerusakan yang terjadi dan mengurangi atau meredam vibrasi yang terjadi.

Hasil penelitian menunjukan setelah dilakukan 3 (tiga) perbaikan, perbaikan pertama yaitu penggantian *Universal Joint Shaft*, serta mengganti tipe *cross joint* ke tipe SWC dan merubah desain *spline*, perbaikan kedua yaitu penggantian Liner dengan menggunakan material poliuretan Shore A95, perbaikan ketiga yaitu dengan penggantian *Ring Chock Spindle* dengan menggunakan material poliuretan *shore A 90*. Nilai RMS kecepatan vibrasi dapat diturunkan sampai antara 19,1 – 26,3 mm/s. Faktor utama vibrasi tinggi yang muncul adalah kelonggaran mekanis yang dikarenakan kurangnya lubrikasi pada bagian mesin yang bergesekan secara terus menerus selama mesin berputar.

Kata kunci : vibrasi, poliuretan, kelonggaran mekanis

## **ABSTRACT**

### **VIBRATION ANALYSIS AND CONTROL ON UNIVERSAL SHAFT AND SPINDLE SUPPORT STAND ROLLING MILL**

**By**

**ANDRIYANTO**

*Reinforcing steel and concrete are components commonly used in construction projects for multi-storey buildings, bridges, houses and so on. Reinforcing steel can be made using a rolling or rolling process. In the rolling process, high vibration often occurs, especially in the finishing mill area which works at a speed of 18-21 m/s with a motor rotation of 1000 – 1300 rpm. Damage occurred to the spindle support, stand and missroll (rolling process failure). The expected RMS value of vibration speed is <20mm/s. This research aims to identify the damage that occurs and reduce or dampen the vibrations that occur.*

*The research results show that after 3 (three) repairs were carried out, the first repair was replacing the Universal Joint Shaft, as well as changing the cross joint type to the SWC type and changing the spline design, the second repair was replacing the liner using Shore A95 polyurethane material, the third repair was replacing the ring. Chock Spindle uses shore A 90 polyurethane material. The RMS value of vibration speed can be reduced to between 19.1 – 26.3 mm/s. The main factor that arises from high vibrations is mechanical looseness due to lack of lubrication in machine parts which rub continuously while the machine is rotating.*

*Keywords : vibrations, polyurethane, mechanical looseness*

## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

Ketua : Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.

Anggota Penguji : Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.

Penguji Utama I : Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M. T.

Penguji Utama II : Dr. Eng. Suryadiwansa Harun, S. T., M. T.

### 2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. H. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. †  
NIP 19750928 200112 1 002

### 3. Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung

Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.  
NIP 19640326 198902 1 001

Tanggal Lulus Ujian Tesis : 05 Juni 2024

Judul Tesis : **ANALISIS DAN PENGENDALIAN VIBRASI  
PADA UNIVERSAL SHAFT DAN SPINDLE  
SUPPORT STAND ROLLING MILL**

Nama Mahasiswa : **Andriyanto**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2125021007**

Program Studi : **Magister Teknik Mesin**

Fakultas : **Teknik**

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing



**Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIP 19710817 199802 1 003



**Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.**  
NIP 19690801 199903 1 002

2. Ketua Jurusan Teknik Mesin



**Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIP 19710817 199802 1 003

## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Andriyanto  
NPM : 2125021007  
Fakultas : Teknik  
Jurusan : Teknik Mesin  
Program Studi : Magister Teknik Mesin

Menyatakan bahwa tesis dengan judul “**ANALISIS DAN PENGENDALIAN VIBRASI PADA UNIVERSAL SHAFT DAN SPINDLE SUPPORT STAND *ROLLING MILL***” adalah karya saya sendiri dan bukan hasil plagiat sebagaimana diatur didalam Pasal 27 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan Surat Keputusan Rektor Nomor 3187/H26/DT/2010.

Bandar Lampung, 12 Juni 2024

Yang membuat pernyataan,



Andriyanto  
NPM 2125021007

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Teluk Betung, Bandar Lampung, Provinsi Lampung pada tanggal 24 Oktober 1986, sebagai putra ketiga dari tiga bersaudara, dari pasangan bapak Eng Beng dan ibu Liauw Tjioe Nie.

Pendidikan Penulis diawali Taman Kanak-kanak (TK) Xaverius Panjang, Bandar Lampung diselesaikan tahun 1992, Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SD Xaverius Panjang, Bandar Lampung pada tahun 1998, Sekolah Lanjutan Tingkat Pertama (SLTP) diselesaikan di SLTP Xaverius III Panjang pada tahun 2001, dan Sekolah Menengah Umum (SMU) di SMU Immanuel, Bandar Lampung pada tahun 2004. Pada tahun 2009 penulis menyelesaikan pendidikan Strata I (Sarjana) dari Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Pada saat ini penulis bekerja di salah satu perusahaan swasta di Cilegon, Banten.

## **PERSEMBAHAN**

Tesis ini penulis persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua, Mama dan Papa yang selalu memberikan semangat dan mendoakan yang terbaik untuk saya.
2. Vivi Indah Wati, istri tersayang dan keempat anak-anakku tercinta, Shienny Viriya Wen-Hansen Viriya Wen-Yansen Viriya Wen-Wilsen Viriya Wen yang telah memberikan semangat dan perhatian dalam menyelesaikan Tesis ini.
3. Bapak Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing I) dan Bapak Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T. (Pembimbing II), yang ikhlas meluangkan waktu untuk membimbing dan memberikan masukan sehingga Tesis ini dapat selesai.
4. Bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M. T. dan Dr. Eng. Suryadiwansa Harun, S. T., M. T., yang telah menjadi penguji pada tesis, telah memberikan masukan untuk menyempurnakan Tesis ini.
5. Bapak dan ibu dosen serta staff administrasi serta pengurus di Program Magister Teknik Mesin Universitas Lampung.
6. Para rekan kerja di PT. Krakatau Osaka Steel yang telah membantu analisis pada tesis ini.
7. Almamaterku Universitas Lampung

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan karunia-Nya Tesis ini dapat diselesaikan.

Tesis dengan judul “**ANALISIS DAN PENGENDALIAN VIBRASI PADA UNIVERSAL SHAFT DAN SPINDLE SUPPORT STAND *ROLLING MILL***” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister sarjana Teknik Mesin di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Harmen, S. T., M. T. selaku Ketua Program Pascasarjana Magister Teknik Mesin.
4. Bapak Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing utama atas kesediaannya memberikan bimbingan, saran dan masukan dalam proses menyelesaikan Tesis ini.
5. Bapak Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing kedua atas kesediannya memberikan bimbingan, saran dan masukan dalam proses menyelesaikan Tesis ini.
6. Bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T. selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan masukan dan saran selama proses pengujian.
7. Bapak Dr. Eng. Suryadiwansa Harun, S. T., M. T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan masukan dan saran selama proses pengujian.
8. Keluarga tercinta yang telah memberikan semangat dan doa terbaik.
9. Rekan kerja di PT. Krakatau Osaka Steel.

10. Teman-teman kuliah Program Pascasarjana Magister Teknik Mesin Universitas Lampung angkatan Tahun 2021.
11. Kepada Mas Salamulloh yang selalu membantu membuatkan keperluan administrasi & surat menyurat selama perkuliahan di Magister Teknik Mesin Universitas Lampung.
12. Kepada Mas Dadang yang selalu membantu menyiapkan tempat ketika seminar proposal, seminar hasil dan ujian tesis.
13. Semua pihak yang membantu penulis untuk menyelesaikan Tesis ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari banyak kekurangan dalam penyusunan dalam Tesis ini, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dan untuk perbaikan di masa yang akan datang. Semoga Tesis ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Terima kasih.

Bandar Lampung, Juni 2024

Penulis,

**Andriyanto**

NPM. 2125021007

## DAFTAR ISI

|                                                                  |            |
|------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                                           | <b>i</b>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                                        | <b>iii</b> |
| <b>DAFTAR DIAGRAM.....</b>                                       | <b>v</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                        | <b>vi</b>  |
| <b>BAB I. PENDAHULUAN.....</b>                                   | <b>1</b>   |
| 1.1 Latar Belakang Masalah.....                                  | 1          |
| 1.2 Perumusan Masalah .....                                      | 6          |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                                      | 6          |
| 1.4 Batasan Masalah .....                                        | 6          |
| <b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>                             | <b>7</b>   |
| 2.1 Pengertian Mesin Berputar ( <i>Rotating Equipment</i> )..... | 7          |
| 2.2 <i>Rolling Mill</i> .....                                    | 8          |
| 2.3 Alur Proses <i>Rolling Mill</i> .....                        | 11         |
| 2.4 Motor Induksi.....                                           | 13         |
| 2.5 <i>Gearbox</i> .....                                         | 14         |
| 2.6 Kopling ( <i>coupling</i> ).....                             | 16         |
| 2.7 <i>Universal Joint Shaft</i> .....                           | 18         |
| 2.8 <i>Spindle Support</i> .....                                 | 24         |
| 2.9 Pengertian Vibrasi.....                                      | 27         |
| 2.10 <i>Unbalance</i> atau Ketidakseimbangan.....                | 35         |
| 2.11 Kelonggaran Mekanis .....                                   | 36         |
| 2.12 Penyerap Getaran atau <i>Vibrasi Absorber</i> .....         | 37         |
| 2.13 Poliuretan .....                                            | 42         |
| 2.14 Alat Ukur Vibrasi.....                                      | 46         |
| <b>BAB III. METODE PENELITIAN .....</b>                          | <b>57</b>  |
| 3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian .....                            | 57         |
| 3.2 Alat Dan Bahan Penelitian.....                               | 57         |
| 3.3 Prosedur Penelitian .....                                    | 59         |

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| <b>BAB V. PENUTUP.....</b>  | <b>72</b> |
| 5.1    Kesimpulan .....     | 72        |
| 5.2    Saran .....          | 74        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b> | <b>75</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1. 1 Sebuah ilustrasi proses <i>rolling</i> [2].....                   | 2  |
| Gambar 1. 2 Kerusakan pada <i>Spindle Support &amp; Stand</i> 18 .....        | 4  |
| Gambar 2. 1 <i>Two High Rolling Mill</i> [6].....                             | 8  |
| Gambar 2. 2 <i>Three High Rolling Mill</i> [6] .....                          | 9  |
| Gambar 2. 3 <i>Four High Rolling Mill</i> [6].....                            | 9  |
| Gambar 2. 4 <i>Cluster Rolling Mill</i> [6].....                              | 10 |
| Gambar 2. 5 <i>Planetary Rolling Mill</i> [6].....                            | 10 |
| Gambar 2. 6 Tandem atau <i>Continuous Rolling Mill</i> [6].....               | 11 |
| Gambar 2. 7 <i>Desain Gearbox</i> [8].....                                    | 14 |
| Gambar 2. 8 <i>Helical Gear Box</i> [9] .....                                 | 15 |
| Gambar 2. 9 <i>Desain Gearbox</i> dengan <i>Helical Gear</i> [8] .....        | 16 |
| Gambar 2. 10 Kopling roda gigi ( <i>Gear Coupling</i> ) [12].....             | 18 |
| Gambar 2. 11 <i>Universal Joint Shaft</i> atau <i>Cardan Shaft</i> [14] ..... | 20 |
| Gambar 2. 12 <i>Spline Shaft</i> [1].....                                     | 20 |
| Gambar 2. 13 <i>Cross Joint/Universal Joint</i> [14].....                     | 22 |
| Gambar 2. 14 <i>Cross Joint tipe Shaft With Pin (SWP)</i> .....               | 23 |
| Gambar 2. 15 <i>Cross Joint tipe Shaft With Cross (SWC)</i> .....             | 24 |
| Gambar 2. 16 <i>Spindle Support</i> [8].....                                  | 25 |
| Gambar 2. 17 <i>Liner Spindle Support</i> [8].....                            | 26 |
| Gambar 2. 18 Hidrolik silinder <i>Spindle Support</i> [8].....                | 26 |
| Gambar 2. 19 <i>Chock Spindle</i> .....                                       | 27 |
| Gambar 2. 20 Ilustrasi getaran dan gelombang [16].....                        | 28 |
| Gambar 2. 21 <i>Ball Bearing</i> [9].....                                     | 31 |
| Gambar 2. 22 <i>Roller Bearing</i> [9] .....                                  | 32 |

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2. 23 <i>Needle Bearing</i> [9] .....                                 | 33 |
| Gambar 2. 24 <i>Thrust Bearing</i> [9] .....                                 | 33 |
| Gambar 2. 25 <i>Plain Bearing</i> [9] .....                                  | 34 |
| Gambar 2. 26 Skala kekerasan <i>Shore</i> [20] .....                         | 45 |
| Gambar 2. 27 Titik pengukuran vibrasi [21] .....                             | 46 |
| Gambar 2. 28 Ilustrasi vibrasi mencapai batas atas [21] .....                | 47 |
| Gambar 2. 29 Ilustrasi vibrasi mencapai batas bawah [21] .....               | 47 |
| Gambar 2. 30 Ilustrasi pergerakan vibrasi [21] .....                         | 48 |
| Gambar 2. 31 Ilustrasi gelombang sinusoidal [21] .....                       | 48 |
| Gambar 2. 32 Siklus penuh gelombang vibrasi [21] .....                       | 49 |
| Gambar 2. 33 Hubungan <i>Displacement, Velocity, Acceleration</i> [22] ..... | 51 |
| Gambar 2. 34 Vibrasi meter .....                                             | 54 |
| Gambar 2. 35 Cara pengambilan data menggunakan sensor getaran [5] .....      | 55 |
| Gambar 2. 36 Nilai <i>Peak to Peak &amp; RMS</i> .....                       | 56 |
| Gambar 3. 1 Poliuretan <i>Shore A</i> .....                                  | 58 |
| Gambar 3. 2 <i>Spindle Support</i> (tempat pengambilan data vibrasi) .....   | 58 |
| Gambar 3. 3 Vibrasi meter yang digunakan .....                               | 59 |
| Gambar 3. 4 Titik pengambilan data vibrasi <i>spindle</i> atas .....         | 61 |
| Gambar 3. 5 Titik pengambilan data vibrasi <i>spindle</i> bawah .....        | 62 |
| Gambar 3. 6 <i>Cross Joint SWP &amp; SWC</i> .....                           | 62 |
| Gambar 3. 7 Desain lama <i>Universal Joint Shaft Stand 18</i> [8] .....      | 63 |
| Gambar 3. 8 Desain baru <i>Universal Joint Shaft Stand 18</i> [8] .....      | 63 |
| Gambar 3. 9 Desain lama <i>Liner Spindle Support</i> .....                   | 66 |
| Gambar 3. 10 Desain baru <i>Liner Spindle Support</i> .....                  | 67 |
| Gambar 3. 11 Desain lama <i>Ring Chock Spindle</i> .....                     | 69 |

## **DAFTAR DIAGRAM**

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| Diagram 3. 1 Diagram Tulang Ikan .....        | 60 |
| Diagram 3. 2 Diagram Alir Tahap Pertama ..... | 65 |
| Diagram 3. 3 Diagram Alir Tahap Kedua.....    | 68 |
| Diagram 3. 4 Diagram Alir Tahap Ketiga.....   | 70 |

## DAFTAR TABEL

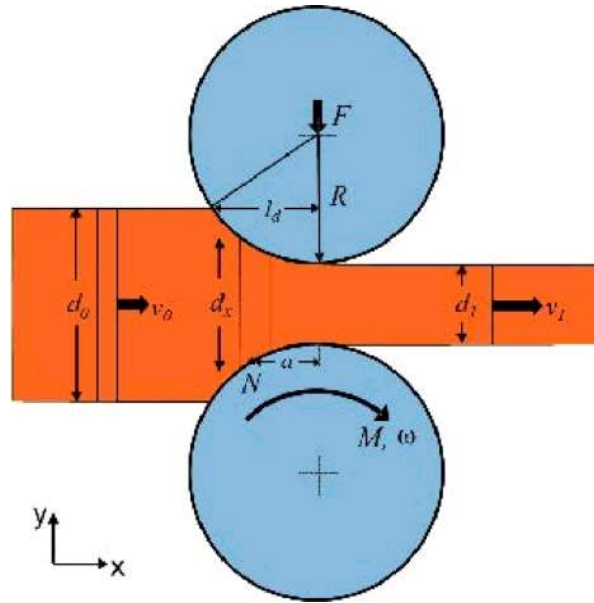
|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2. 1 Properti material poliuretan [19] .....       | 45 |
| Table 3. 1 Parameter pengambilan data .....              | 61 |
| Table 3. 2 Parameter pengambilan data tahap pertama..... | 65 |
| Table 3. 3 Parameter pengambilan data Tahap Kedua.....   | 68 |
| Table 3. 4 Parameter pengambilan data Tahap Ketiga ..... | 70 |

## **BAB I. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Baja tulangan dan beton merupakan komponen yang umum dipergunakan pada proyek pembangunan gedung bertingkat, jembatan, rumah dan lain-lainya. Besi beton atau baja tulangan (*reinforcing bar* disingkat *rebar*) adalah batang baja yang berbentuk menyerupai jala baja yang digunakan sebagai alat penekan pada beton bertulang dan struktur batu bertulang untuk memperkuat dan membantu beton menahan beban & tekanan. Beton tahan terhadap tekanan, tetapi memiliki kekuatan tarik yang lemah. Besi beton secara signifikan meningkatkan kekuatan tarik struktur. Permukaan besi beton sering berubah bentuk untuk memposisikan ikatan yang lebih baik dengan beton. Baja tulangan dapat dibuat menggunakan proses *rolling* atau pengerollan.

Proses *rolling* atau proses pengerolan yaitu suatu proses untuk mengurangi ketebalan atau pengurangan luas penampang dari benda kerja dengan mempergunakan gaya tekan yang diterapkan melalui seperangkat roll.[1] Seperti ilustrasi Gambar 1.1 (Sebuah ilustrasi proses *rolling*).



**Gambar 1. 1** Sebuah ilustrasi proses *rolling* [2]

Bahan baku yang akan diproses *rolling* disebut billet yang memiliki penampang persegi. Sebelum proses *rolling*, billet diberi pemanasan ulang terlebih dahulu sampai dengan 1100 derajat Celcius, yang disebut proses *Reheating Furnace*. Dimana *Reheating Furnace* ini dibagi menjadi 3 zona, zona *Preheating* (700 derajat Celcius sampai dengan 900 derajat Celcius), zona *Heating* (900 derajat Celcius sampai dengan 1100 derajat Celcius), dan zona *Soaking* (1100 derajat Celcius sampai dengan 1200 derajat Celcius).[3]

Untuk proses *rolling mill*, stand dibagi menjadi *Roughing Mill*, *Intermediate Mill*, *Finishing Mill*. Proses *Roughing Mill* adalah proses pertama kali billet dikurangi luas penampangnya. Pada proses *Intermediate Mill* juga terdapat perubahan luas penampang. Proses *Finishing Mill* adalah proses akhir pada *rolling mill*, dimana bentuk dari produk sudah terlihat profilnya.[1]

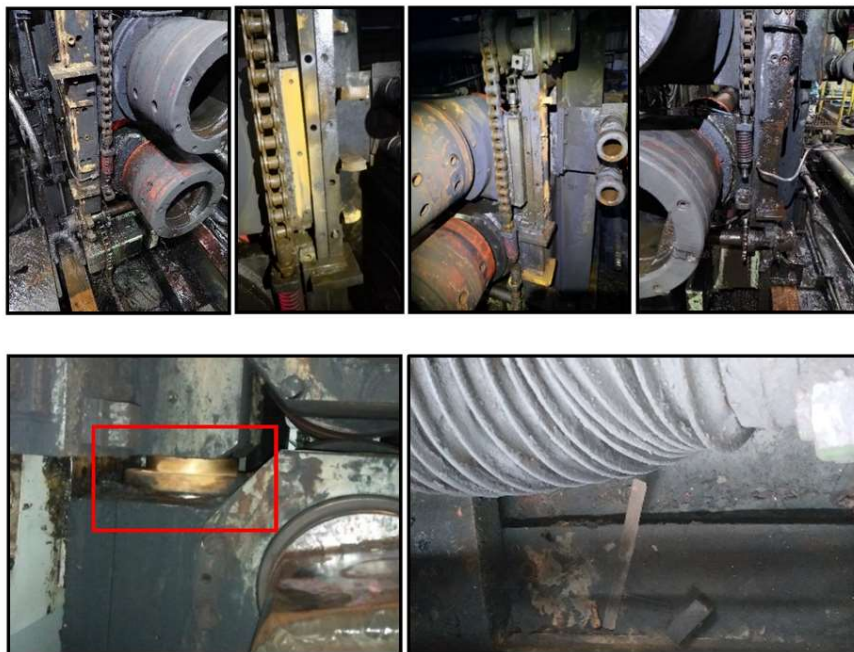
Getaran mesin (*Mechanical Vibration*) diartikan sebagai gerakan bolak-balik dari komponen mekanik dari suatu mesin sebagai reaksi dari adanya gaya dalam (gaya yang dihasilkan oleh mesin tersebut) maupun gaya luar (gaya yang berasal dari luar atau sekitar mesin). Kasus yang dominan dalam getaran permesinan adalah yang disebabkan oleh gaya eksitasi getaran yang berasal dari mesin tersebut, yang menyangkut diantaranya:

1. Kondisi yang tak seimbang (*unbalance*) baik yang statik maupun dinamik padamesin tersebut.
2. Cacat yang terjadi pada elemen-elemen rotasi (*bearing* rusak, *impeller* macet, dll).
3. Ketidakefungsian bagian atau fungsi mesin tersebut. Mesin yang ideal tidak akan bergetar karena energi yang diterimanya digunakan sepenuhnya untuk kefungsian mesin itu sendiri.

Dalam praktek mesin yang dirancang dengan baik, getarannya relatif rendah namun untuk jangka pemakaian yang lama akan terjadi kenaikan level getaran karena hal berikut [4]:

1. Keausan pada elemen mesin.
2. Proses pemantapan pondasi(base plate) sedemikian rupa sehingga terjadi deformasi dan mengakibatkan misalignment pada poros.
3. Perubahan perilaku dinamik pada mesin sehingga terjadi perubahan frekuensi pribadi.

Kecepatan *rolling* pada saat produksi Baja Tulangan Sirip 420 (disingkat BjTS 420) dengan dimensi diameter 10mm (biasa dikatakan BjTS 420 S10) yaitu antara 18 - 21 m/s, dengan rotasi motor 1000 - 1300 rpm tergantung diameter roll yang dipakai. Pada saat produksi dengan kecepatan itu, mulai dari *Universal Joint Shaft* sampai *stand* bergetar cukup besar, terukur kecepatan vibrasi lebih dari 20 RMS dalam satuan mm/s, dan bila getaran/vibrasi dibiarkan akan semakin besar yang menyebabkan masalah yang sering disebut *missroll* (kegagalan proses *rolling*). Selain menimbulkan *missroll*, juga merusak *part* pada *spindle support* dan *stand* itu sendiri, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.2 (Kerusakan pada *Spindle Support & Stand* 18). Bila terjadi kegagalan seperti itu, maka akan merugikan perusahaan.



**Gambar 1. 2** Kerusakan pada *Spindle Support & Stand* 18

Karena vibrasi yang muncul cukup besar maka, produktivitas dari mesin tersebut dan menyebabkan *part-part* pada mesin tersebut menjadi rusak. Penelitian ini merupakan pengembangan dari *coutermeasure* permasalahan yang terjadi, yaitu vibrasi yang cukup tinggi yang bisa menimbulkan kegagalan produksi dan kerusakan part pada mesin. Dalam penelitian ini akan coba dilakukan beberapa eksperimen untuk menurunkan vibrasi yang terjadi, dari pergantian desain, penambahan *part*, dan lain-lain.

Pada penelitian ini, peneliti tertarik untuk mencari dari mana vibrasi atau getaran yang besar atau yang tidak lazim itu berasal dan bagaimana cara mengatisipasi sumber vibrasi serta meredam vibrasi yang tidak lazim pada proses *rolling mill*. Diharapkan hasil dari penelitian ini mampu menjadikan solusi untuk mengatisipasi vibrasi/getaran yang terjadi pada proses *rolling mill* agar menaikkan produktifitas dan effisiensi mesin *rolling mill*. Untuk penelitian ini, lebih difokuskan pada proses *rolling mill* terutama pada area produksi *finishing mill*. Pada *finishing mill* terdapat 6 *stand* (*Stand* 13, 14, 15, 16, 17, 18). Pada proses *rolling* pada satu *stand* terdapat 1 motor dan beberapa segmen mesin. Pada prosesnya, billet yang masuk ke *stand* akan dikurangi luas permukaannya, dengan pengepressan/penekanan billet menggunakan dua roll atas bawah dengan diputar oleh rangkaian *Motor-Gear Coupling-Gearbox-Universal Shaft-Cross joint-Spindle Support-Stand*.

## 1.2 Perumusan Masalah

1. Adakah kerusakan yang terjadi pada *Spindle Support* yang dikarenakan vibrasi?
2. Bagaimana cara menurunkan atau meredam vibrasi pada *rolling mill* proses, terutama di *Spindle Support*?
3. Bagaimana cara mempertahankan agar nilai RMS kecepatan vibrasi yang terjadi pada *Spindle Support*  $< 20\text{RMS mm/s}$  ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Mengidentifikasi kerusakan yang terjadi pada *Spindle Support* yang dikarenakan vibrasi.
- b. Menurunkan atau meredam vibrasi pada *Spindle Support*.
- c. Menjaga nilai RMS kecepatan vibrasi pada *Spindle Support*  $< 20\text{ mm/s}$ .

## 1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini menggunakan metode *trial & error*.

## **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Pengertian Mesin Berputar (*Rotating Equipment*)**

Mesin/peralatan (*rotating equipment*) adalah suatu mesin yang mempunyai sistem kerja berputar searah jarum jam dengan kecepatan dan waktu tertentu sesuai kebutuhan dan fungsi mesin tersebut. Jenis mesin berputar seperti dibawah ini [5] :

- a. Turbin
- b. Generator
- c. Mesin perkakas
- d. Mesin tekstil
- e. Pompa
- f. *Rolling mill*

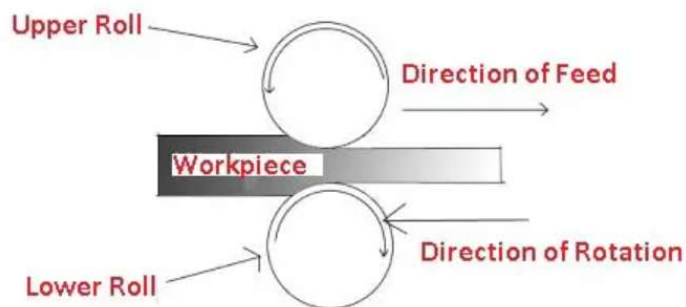
Produk yang termasuk *rotating equipment* merupakan produk yang membutuhkan teknologi presisi tinggi dalam proses pembuatannya. Contoh umumnya yaitu peralatan pabrik mesin produksi. Poros merupakan salah satu bagian yang terpenting dari setiap mesin. Hampir semua mesin meneruskan tenaga bersama-sama dengan putaran. Peranan utama dalam transmisi seperti itu dipegang oleh poros.[27] Namun harus diwaspadai juga mesin berputar yang digunakan dalam jangka waktu panjang biasanya juga akan sering mengalami kerusakan ringan ataupun kerusakan yang berakibat fatal yang dapat merugikan suatu proses produksi.

## 2.2 Rolling Mill

*Rolling* merupakan suatu proses untuk mengurangi ketebalan atau pengurangan luas penampang dari benda kerja dengan mempergunakan gaya tekan yang diterapkan melalui seperangkat roll. Mesin yang digunakan dalam proses *rolling* disebut *Rolling mill*. *Rolling mill* dapat dengan cepat memproses logam menjadi berbagai produk. Ada berbagai jenis proses pengerolan, termasuk pengerolan panas dan pengerolan dingin. Pengerolan panas dilakukan di atas suhu rekristalisasi logam, sedangkan pengerolan dingin dilakukan di bawahnya.

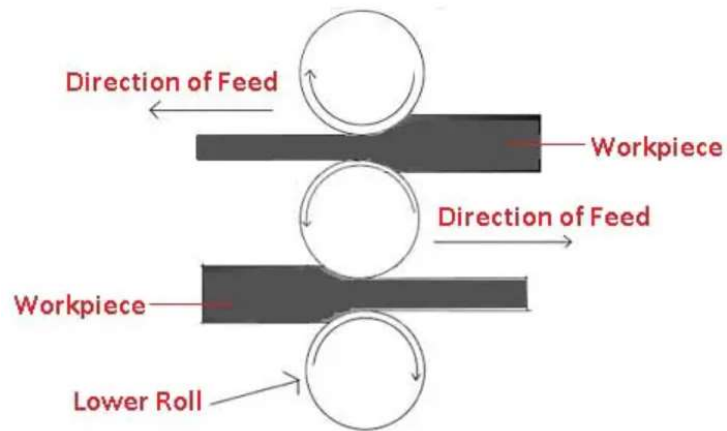
*Rolling mill* diklasifikasikan berdasarkan jumlah dan susunan roll di dalamnya. Ada banyak jenis *rolling mill* yang berbeda, dan *mill* yang optimal untuk suatu produk bergantung pada logam dan proses *rolling* yang digunakan oleh pabrikan. Berikut adalah beberapa jenis utama *rolling mills* [6]:

- a. *Two-High Rolling Mills*. Ini terdiri dari dua roll/roll yang ditempatkan satu di atas yang lain (ditunjukkan pada Gambar 2.1). Bahan dilewatkan melalui dua roll, dan ketebalannya berkurang.



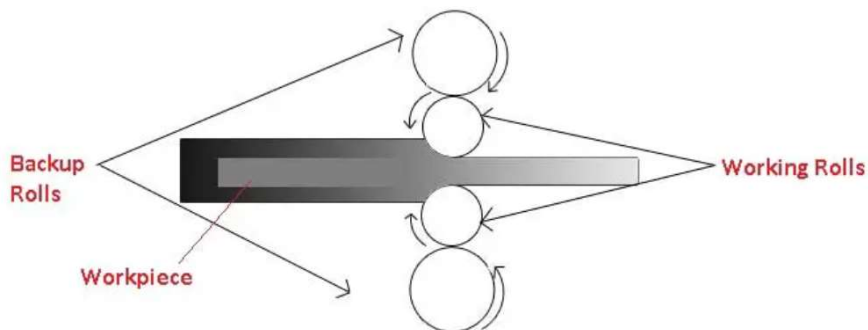
**Gambar 2. 1** *Two High Rolling Mill* [6]

b. *Three-High Rolling mills*: Jenis *rolling mill* ini memiliki tiga roll yang disusun secara vertikal (ditunjukkan pada Gambar 2.2). Bahan dilewatkan melalui roll atas dan bawah, dan roll tengah digunakan untuk memberikan tekanan dan mengurangi ketebalan bahan.



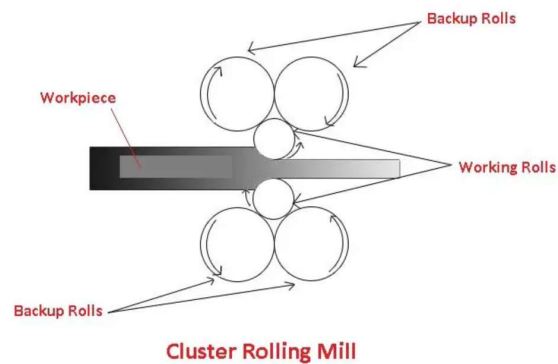
**Gambar 2. 2** *Three High Rolling Mill* [6]

c. *Four-High Rolling mills*: Jenis *rolling mill* ini memiliki empat roll yang disusun dalam bidang vertikal (ditunjukkan pada Gambar 2.3). Bahan dilewatkan melalui roll atas dan bawah, dan dua roll tengah digunakan untuk memberikan tekanan dan mengurangi ketebalan bahan.



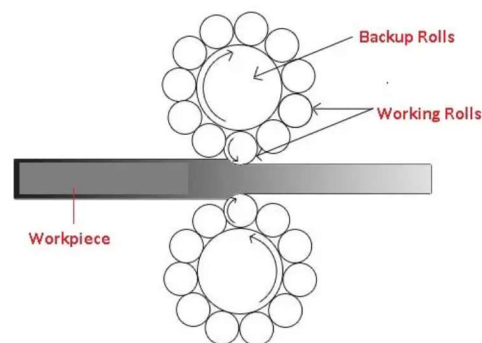
**Gambar 2. 3** *Four High Rolling Mill* [6]

d. *Cluster Rolling Mill*: Sekelompok roll berbaris untuk ditipiskan. Pabrik memiliki empat roll horizontal, dua diameter lebih kecil, dan dua lebih besar (ditunjukkan pada Gambar 2.4). Roll yang lebih besar disebut roll cadangan, dan roll yang lebih kecil disebut roll yang berfungsi. Roll cadangan menahan roll yang berfungsi dan membatasi defleksi saat material sedang digulung.



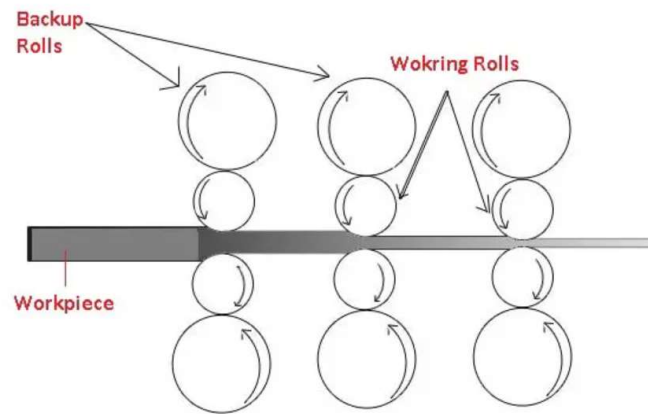
**Gambar 2. 4** *Cluster Rolling Mill* [6]

e. *Planetary Rolling Mill*. Setiap roll planet memberikan pengurangan terus menerus. Ini digunakan untuk mengurangi ketebalan besar dalam sekali lintasan strip baja. (ditunjukkan pada Gambar 2.5).



**Gambar 2. 5** *Planetary Rolling Mill* [6]

- f. Tandem atau *Continuous Mill. Rolling mill* ini digunakan untuk *multiple pass rolling*, menggabungkan dua atau lebih *mill stand* (ditunjukkan pada Gambar 2.6). Bahan kerja terus-menerus melewati beberapa *stand* atau kedudukan, dan pada setiap *stand*, ketebalan strip kerja berkurang dalam jumlah tertentu. Pengurangan total antara tegakan pertama dan terakhir dapat menjadi signifikan.



**Gambar 2. 6** Tandem atau *Continuous Rolling Mill* [6]

### 2.3 Alur Proses *Rolling Mill*

Pada penelitian ini menggunakan *Two-High Rolling mills*.

Alur proses *rolling mill* yaitu :

- a. Billet dipanaskan sampai dengan 1050 - 1100°C, proses ini dinamakan proses *Reheating Furnace* (RHF). Pemanasan ini dilakukan untuk mengubah sifat material. Di dalam mesin *reheating furnace* tipe *walking beam* ini memiliki 3 zona pemanasan, zona – zona tersebut adalah zona *Preheating* (700 °C –900 °C), zona *Heating* (900 °C – 1100 °C), dan zona *Soaking* (1100 °C – 1200 °C).[4] Bahan baku yang akan diproses pada

*rolling mill* disebut billet yang memiliki penampang persegi. Sebelum proses *rolling*, billet diberi pemanasan ulang terlebih dahulu.

- b. Setelah proses RHF masuk proses *descaling*, yaitu proses penghilangan lapisan oksida besi/kerak besi (*scale*). Proses pemanasan baja akan menimbulkan dampak seperti terbentuknya kerak besi. Kerak besi merupakan suatu lapisan oksida yang muncul karena adanya reaksi oksidasi antara unsur besi dalam oksigen yang terkandung di atmosfer di area billet selama proses pemanasan. Proses *descaling* menggunakan alat yang bernama *Descaler*, dimana menghilangkan *scale* dengan menggunakan air bertekanan tinggi ( $\pm 15$  Mpa).
- c. Setelah proses *descaling* masuk ke proses *rolling*, dimana bahan baku billet yang telah dipanaskan tadi akan dibentuk dengan adanya gaya tekan sedemikian rupa melalui roll-roll dengan bentuk *groove* bermacam-macam (atau disebut *caliber*).
- d. Untuk proses *rolling* yang terus menerus, stand dibagi menjadi 3 tahap yaitu *Roughing Mill*, *Intermediate Mill*, *Finishing Mill*. Untuk memproduksi BjTS dengan diameter 10 – 19 mm menggunakan 18 *stand*. 18 *stand* dibagi menjadi 3 segmen proses, *roughing mill 6 stand*, *intermediate mill 6 stand*, *finishing mill 6 stand*. Proses *Roughing Mill* adalah proses pertama kali billet dikurangi luas penampangnya. Proses *Intermediate Mill* juga terdapat perubahan luas penampang. Proses *Finishing Mill*, bentuk dari *rebar* sudah mulai terlihat.
- e. Setelah proses *rolling mill*, masuk ke proses pendinginan di *Cooling Bed*.
- f. Setelah dingin, kemudian proses pemotongan panjang produk.

g. Proses terakhir adalah proses *bundling*/pengemasan. Dan penempatan di *warehouse*/gudang, sebelum dikirim ke *customer*.

Pada prosesnya proses *rolling mill* membutuhkan daya untuk memutar roll, yang meliputi motor elektrik, *gearbox*, *universal joint shaft*, *spindle support*, *stand*.

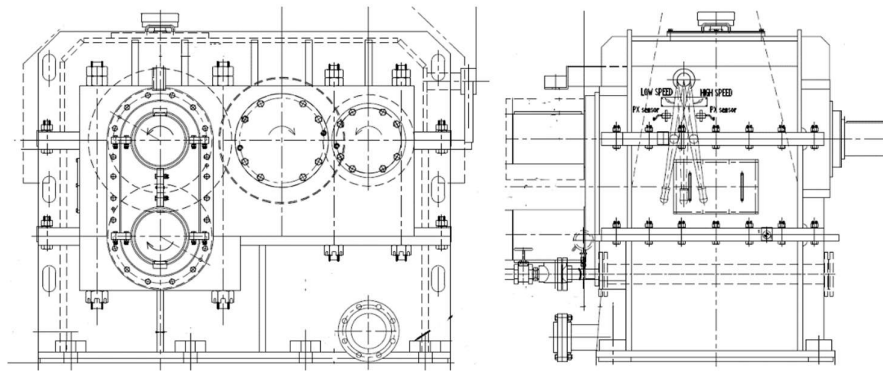
## 2.4 Motor Induksi

Motor induksi adalah motor listrik yang bekerja berdasarkan arus induksi. Prinsip kerjanya berdasarkan gandingan medan listrik. Bentuk motor induksi memiliki celah antara medan stator dan medan rotor. Sumber arus induksi adalah perbedaan relatif antara putaran rotor dan medan putar stator. Motor induksi tidak menggunakan kumparan medan.

*Fluks* magnetik dibangkitkan dari daya listrik masukan dari stator. Sifat daya tersebut adalah induktif. Kondisi ini membuat motor induksi bekerja dengan faktor daya terbelakang. Bagian stator dan rotor terpisah oleh celah udara. Jarak celah udara ini sangat sempit. Ketebalannya antara 0,4–4 mm. Penerapan motor induksi sangat umum di industri karena memiliki tingkat keandalan yang tinggi dan tingkat perawatan yang mudah. Motor induksi bekerja dengan arus bolak-balik (AC) sehingga memiliki rasio daya listrik terhadap berat mesin yang lebih tinggi dibandingkan dengan motor arus searah (DC). Pada makalah ini menggunakan motor listrik arus bolak-balik (AC) induksi dengan menggunakan inverter, sehingga dapat diatur kecepatan putaran motor.[7]

## 2.5 Gearbox

*Gearbox* adalah perangkat mekanis yang menggunakan roda gigi untuk mengubah kecepatan atau arah putaran pada mesin. *Gearbox* didesain sebagai komponen penting dari mesin yang digunakan oleh berbagai industri, termasuk peralatan mesin, peralatan industri, konveyor, dan peralatan penanganan material. Tujuan dari *gearbox* adalah untuk meningkatkan torsi, mengurangi kecepatan putaran poros keluaran penggerak utama.[13]



**Gambar 2. 7** *Desain Gearbox* [8]

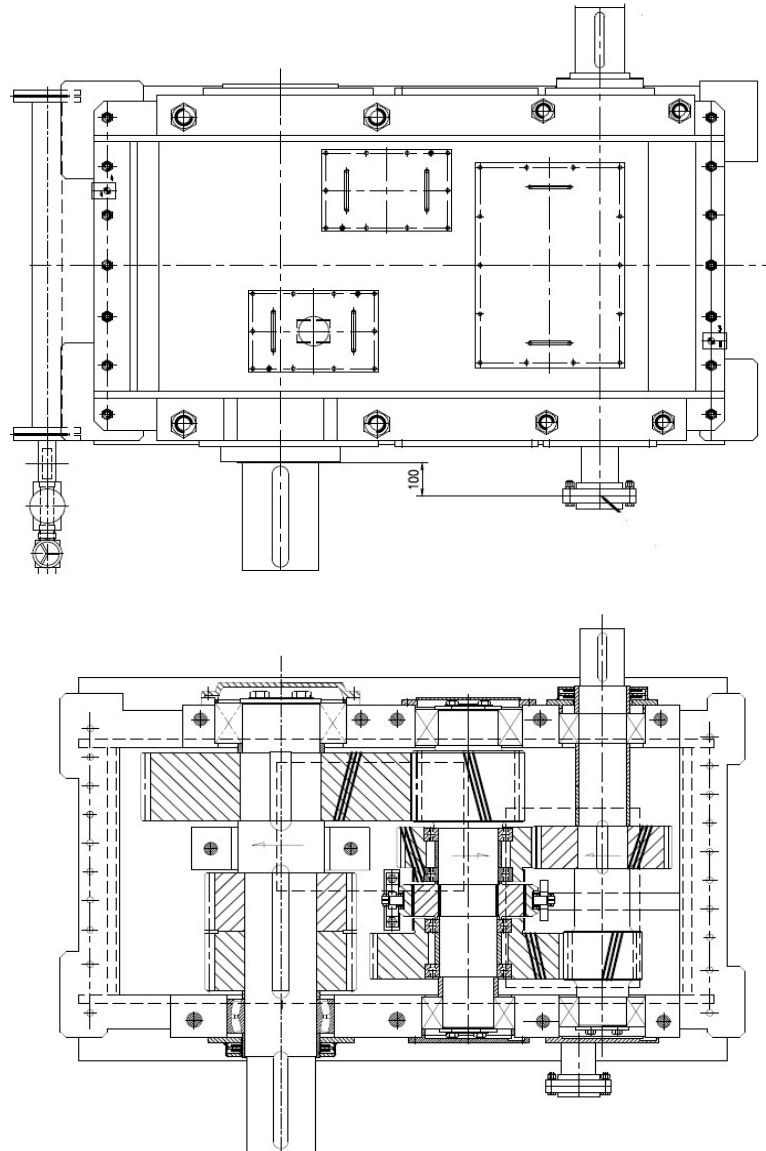
*Gearbox rolling mill* adalah komponen penting dari keseluruhan sistem *rolling mill*, yang bertanggung jawab untuk mentransmisikan daya dari motor ke roll. *Gearbox rolling mill* mendapatkan beban yang sangat tinggi, suhu tinggi, dan operasi terus menerus dan memungkinkan selama 24 jam non stop. Oleh karena itu, *gearbox* yang digunakan di *rolling mill* harus dirancang untuk tahan terhadap kondisi tersebut. *Gearbox* yang cocok dipakai untuk proses *rolling mill* adalah *Helical Gearbox*, dimana *helical gearbox* dapat membagi daya antara *roll mill* atas dan bawah. *Helical gearbox* bentuk giginya miring 15 - 30 derajat, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8 dan Gambar 2.9. Bisa digunakan untuk kecepatan putar sampai 3500 rpm.



**Gambar 2. 8** *Helical Gear Box* [9]

Keistimewaan dari *gearbox* ini adalah poros paralel, kecepatan dan beban sangat tinggi, cocok untuk kecepatan dan beban tinggi. *Helical gearbox* memiliki efisiensi yang tinggi dalam mentransmisikan daya. Desain heliks pada gigi-gigi *gearbox* memungkinkan kontak yang lebih luas antara gigi-gigi, mengurangi kehilangan energi akibat gesekan dan memaksimalkan transfer daya. *Helical gearbox* dikenal karena operasinya yang halus dan tenang. [10]

Desain heliks pada gigi-gigi *gearbox* mengurangi kebisingan dan getaran yang dihasilkan selama operasi, menciptakan lingkungan kerja yang lebih nyaman. *Helical gearbox* mampu menghasilkan torsi yang tinggi, sehingga dapat mengatasi beban berat yang diperlukan dalam operasi *rolling mill*. Hal ini memungkinkan *helical gearbox* untuk menangani tekanan dan gaya yang dihasilkan saat proses *rolling*. *Helical gearbox* umumnya terbuat dari bahan yang kuat dan tahan lama, seperti baja yang telah dikeraskan (*hardening*).



**Gambar 2. 9** *Desain Gearbox dengan Helical Gear* [8]

Hal ini membuat *helical gearbox* mampu bertahan dalam kondisi operasi yang berat dan tahan terhadap keausan.[11]

## 2.6 Kopling (*coupling*)

Dalam teknik, kopling adalah alat yang digunakan untuk menghubungkan dua poros bersama-sama di ujungnya untuk tujuan mentransmisikan daya.

Ada beberapa jenis kopling, yaitu :

a. Kopling kaku

Kopling kaku digunakan untuk menghubungkan dua poros bersama dalam garis lurus. Ini adalah jenis kopling yang paling sederhana dan digunakan saat poros disejajarkan dengan sempurna.

b. Kopling fleksibel

Kopling fleksibel digunakan ketika kedua poros ada sedikit perubahan posisi secara aksial, radial, maupun angular ketika mesin beroperasi. Itu juga dapat menyerap beban kejut dan getaran. Ada beberapa jenis flexible coupling, antara lain *sleeve* atau *muff coupling*, *split muff coupling*, *flange coupling*, *gear coupling*, *universal joint* (sambungan Hooke), dan kopling fluida.

Pada rangkaian stand *rolling mill* ini, antara motor dan *gearbox* terdapat *gear coupling* atau kopling roda gigi. Kopling roda gigi adalah jenis kopling fleksibel yang digunakan untuk menghubungkan dua poros yang sedikit tidak sejajar. Ini terdiri dari dua roda gigi dengan gigi yang menyatu. Mereka digunakan dalam aplikasi torsi tinggi dan daya tinggi dan dirancang untuk mengakomodasi ketidaksejajaran yang melekat di antara poros. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10, kopling roda gigi biasanya terdiri dari dua sambungan fleksibel, satu dipasang pada setiap poros, yang dihubungkan oleh spindel atau poros ketiga. Desain ini memberikan transmisi torsi tertinggi untuk ukuran terkecil dan memungkinkan kopling roda gigi bekerja pada kecepatan tinggi.[27]



**Gambar 2. 10** Kopling roda gigi (*Gear Coupling*) [12]

## **2.7 Universal Joint Shaft**

Hampir semua mesin meneruskan tenaga bersama-sama dengan putaran. Peranan utama dalam transmisi seperti itu dipegang oleh poros.

Poros untuk meneruskan daya diklasifikasikan menurut pembebanannya sebagai berikut [13]:

a. Poros transmisi

Poros ini mendapatkan beban puntir dan lentur. Daya ditransmisikan kepada poros ini melalui kopling, roda gigi, puli sabuk atau sproket rantal dan lain-lain.

b. Gandar

Gandar adalah poros yang dipasang di antara roda-roda kereta, dimana tidak mendapat beban puntir, bahkan kadang-kadang tidak boleh berputar.

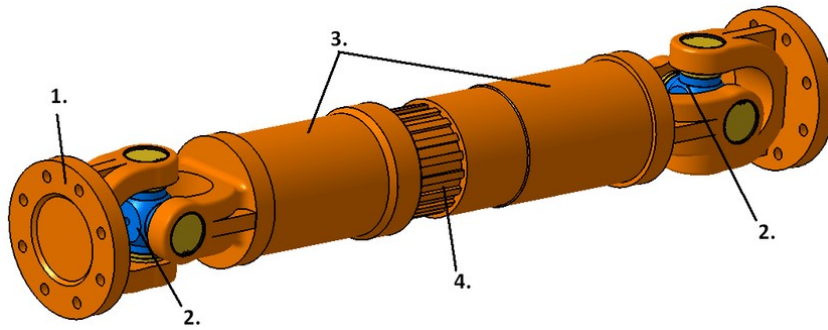
Poros yang dipakai untuk meneruskan putaran tinggi dan beban berat pada umumnya dibuat dari baja paduan dengan pengerasan lapisan luar poros yang sangat tahan terhadap keausan. Beberapa di antaranya adalah baja

khrom nikel, baja khrom nikel molibdenum, baja khrom molibden, dan lain-lain.

c. Spindel

Spindel dalam konteks *rolling mill* adalah komponen yang digunakan untuk mentransfer daya dari *gearbox* ke satu set roll ketika sambungan langsung tidak memungkinkan atau tidak praktis. Poros *spindle* yang digunakan untuk mentransmisikan torsi antara dua poros yang tidak sejajar satu sama lain disebut *Universal Joint Shaft* atau poros sambungan universal. *Universal joint shaft* adalah sambungan atau kopling yang menghubungkan poros kaku yang sumbunya ditekuk satu sama lain.

Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11, *Universal joint shaft* semacam kopling yang berbentuk *cardan shaft* dengan sambungan yang memungkinkan poros penggerak mentransmisikan daya pada berbagai sudut. *Universal joint shaft* banyak digunakan, yang dapat terus berputar antara dua poros pada sumbu yang sama atau sudut besar (maksimum 18°) sumbu atau sumbu besar bergerak. Persimpangan kopling *universal joint shaft* digunakan di banyak bidang seperti *Rolling mill* mesin, mesin kertas, perangkat angkat, kendaraan dan lain-lain. *Universal joint shaft* memiliki prinsip desain, struktur yang berbeda dan kombinasi bahan. *Universal Joint Shaft* terdiri dari 2 *cross joint* & 1 *spline shaft* ada pada tengah-tengah kedua *cross joint*.

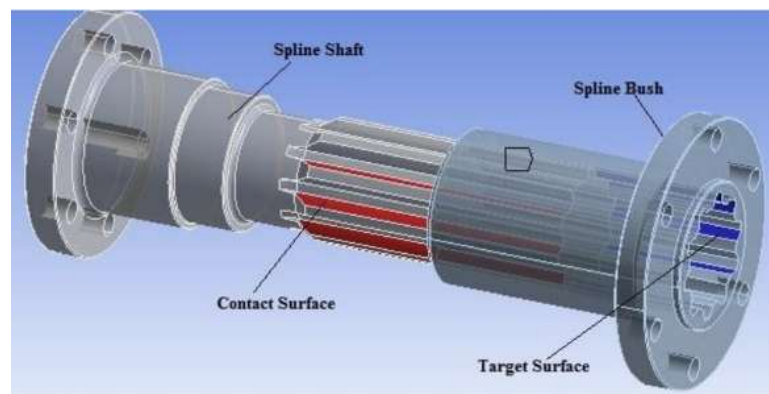


(1- flange, 2 – universal joint, 3 – cardan shaft, 4- castellated shaft/spline shaft)

**Gambar 2. 11** *Universal Joint Shaft* atau *Cardan Shaft* [14]

d. *Spline Shaft*

*Spline Shaft* adalah bagian dari *universal joint shaft* yang digunakan untuk mentransmisikan daya antara komponen yang berputar melalui gigi. *Shaft*/poros bergigi luar (*male spline*) adalah bagian *contact surface* yang cocok dengan bagian *target surface* bergigi bagian dalam (*female shaft*), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12. *Spline shaft* adalah salah satu poros yang paling serbaguna, atribut terbesarnya adalah giginya. [10]



**Gambar 2. 12** *Spline Shaft* [1]

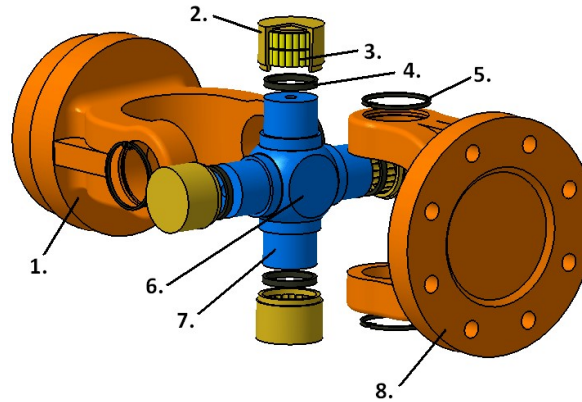
*Spline shaft* terdiri dari banyak gigi dengan rasio 1/1, sesederhana kedengarannya, gigi ini sangat efektif dalam menyebarkan gaya yang dialaminya di area yang luas. Hal ini memungkinkan *spline shaft* untuk menahan gaya besar yang memungkinkannya digunakan di banyak mesin *rotating*. Tujuan utama adalah untuk mentransfer torsi, dan semakin banyak torsi yang dapat ditransfer *shaft*, semakin banyak situasi yang dapat ditransfer. [24]

Karena terus menerus berputar dan bergesekan, *spline shaft* akan mengalami keausan (*wear*). Biasanya banyak keausan ini dapat diatasi dengan menggunakan pelumas seperti *grease* secara periodik. Ini dapat membantu mengurangi keausan terutama di area gesek yang mengalami tegangan geser paling banyak. *Spline shaft* tersedia dalam berbagai ukuran dan gaya untuk disesuaikan dengan aplikasi yang berbeda. Dapat dibuat khusus untuk spesifikasi desain yang unik, dengan kemampuan termasuk panjang, diameter, kekerasan, sudut tekanan, *pitch*. Material *spline shaft* biasanya baja khrom molibden (42CrMo atau ekuivalen dengan JIS G4503 bahan SCM 440 dengan kekerasan 269-298 HBS (kekerasan Brinell) dilakukan perlakuan hardening dengan metode nitriding dengan kekerasan  $\geq 570$  HV (kekerasan Vickers) atau setara 50 – 55 HRC (kekerasan Rockwell). [6]

e. *Cross joint*

*Cross joint* atau sambungan silang adalah bagian dari *universal joint shaft*, dimana bentuknya berupa tanda plus yaitu salah satu bagian dari sistem pemindah tenaga yang berfungsi untuk memungkinkan poros berputar dengan lancar walaupun terjadi perubahan sudut (ditunjukkan

pada Gambar 2.13). *Cross joint* adalah komponen mekanis yang digunakan untuk mentransmisikan daya pada berbagai sudut.[1]



1-driving fork, 2-bearing shell, 3-needle bearing, 4-sealing, 5-lock ring, 6-cross, 7- joint bolt, 8-driven fork)

**Gambar 2. 13** *Cross Joint/Universal Joint* [14]

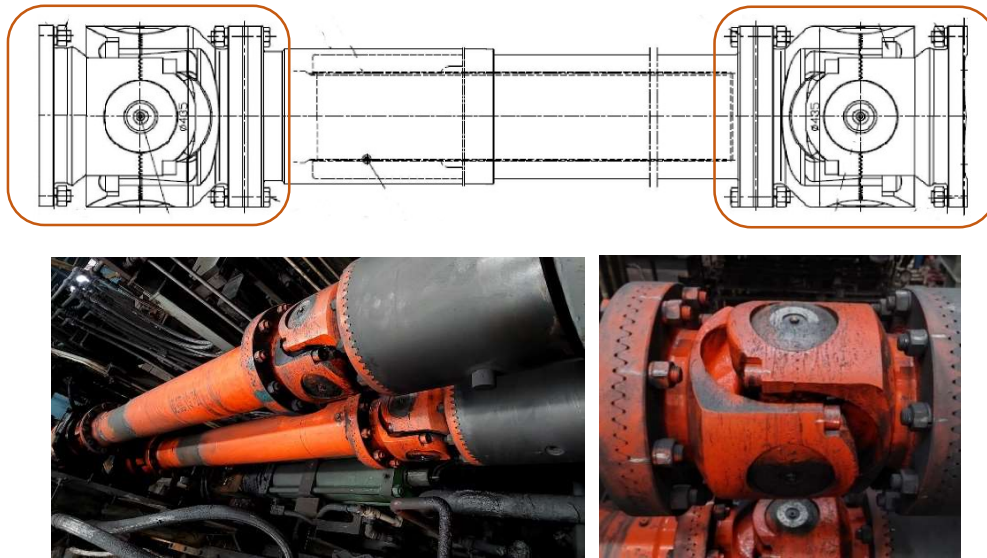
Fungsi *cross joint* pada mesin *rolling mill* adalah menghubungkan dua poros dan memberikan mekanisme pengikatan yang kuat. Hal ini memungkinkan *rolling mill* untuk mentransmisikan torsi dan gerakan dari motor keudukan *rolling mill*, yang kemudian ditransmisikan putaran ke roll yang melakukan proses *rolling*. *Cross joint* terbuat dari bahan 20CrMnTi, tetapi bahan lain juga dapat digunakan.

Ada 2 tipe *Cross joint* pada *rolling mill* proses, yaitu :

- i. Tipe SWP atau "*Shaft With Pin*".

*Cross Joint* SWP juga disebut *split bearing eye* atau mata bantalan terpisah (ditunjukkan pada Gambar 2.14). Jenis *cross joint* ini dibelah dan kemudian disambung menggunakan baut, seperti *clamp* menggunakan baut, tanpa *snap ring* sebagai stopper. Jenis *cross joint* tipe SWP dikembangkan secara khusus untuk aplikasi tugas berat dan super berat, dengan kemampuan transmisi torsi maksimum, dan tidak cocok untuk

semua aplikasi, seperti aplikasi dengan persyaratan kecepatan putar tinggi. Desain *cross joint* SWP rentan terhadap keausan yang disebabkan oleh kelonggaran sambungan baut. *Cross joint* SWP adalah jenis *cross joint* yang digunakan dalam berbagai aplikasi industri seperti pabrik penggilingan dan penghancur.



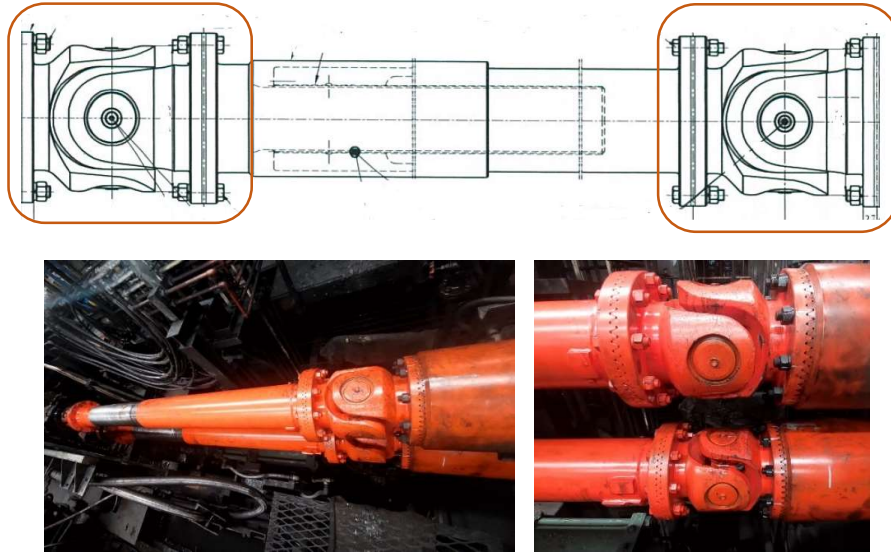
**Gambar 2. 14** *Cross Joint tipe Shaft With Pin (SWP)*

*Cross joint* tipe SWP memungkinkan *shaft* menekuk ke segala arah, dengan kompensasi sudut sampai 10 derajat.

ii. Tipe SWC atau "*Shaft With Cross*"

*Cross joint* tipe SWC juga disebut *closed bearing eye* atau bantalan mata tertutup (ditunjukkan pada Gambar 2.15). *Cross joint* tipe SWC ini dirancang dengan penampang tugas berat yang tidak memerlukan sambungan atau baut, menggunakan *snap ring* sebagai *stopper bearing*, sehingga memberikan peningkatan kekuatan dan daya tahan dengan kompensasi sudut sampai 15,25 derajat. *Cross joint* tipe SWC memiliki

desain wajar yang memungkinkan torsi transmisi besar dan efisiensi transmisi atau kecepatan putar yang tinggi. Karena tidak ada sambungan baut, maka potensi keausan yang disebabkan oleh kelonggaran sambungan baut tidak ada. Hal ini dapat mengurangi kebutuhan perawatan dan mengurangi potensi kerusakan pada *cross joint*.



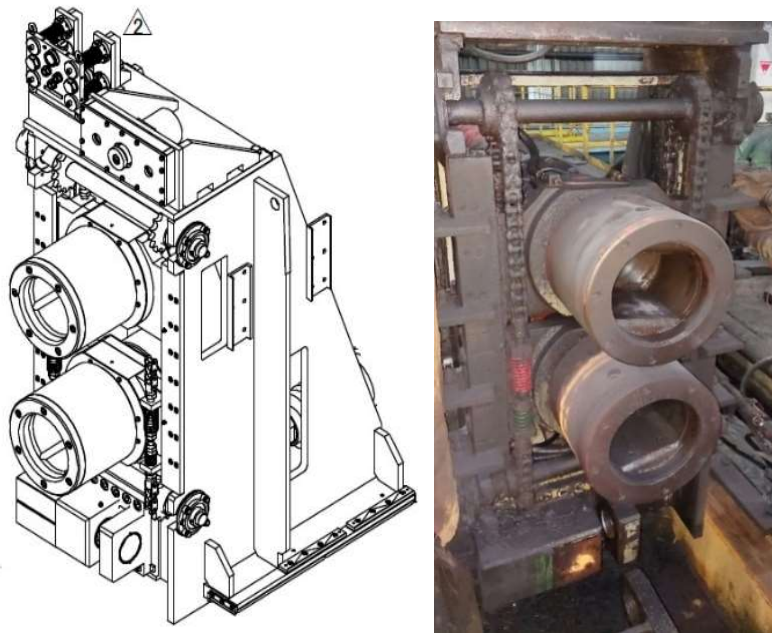
**Gambar 2. 15** *Cross Joint tipe Shaft With Cross (SWC)*

*Cross joint* tipe SWC dapat digunakan dalam berbagai aplikasi industri, termasuk *rolling mill*, penghancur, peralatan pompa air, dan peralatan tugas berat lainnya.

## **2.8 Spindle Support**

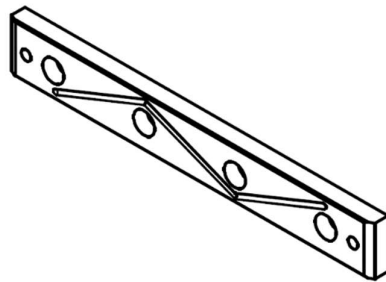
*Spindle support rolling mill* merupakan komponen mesin *rolling mill* yang mempunyai tugas menopang atau menahan *spindle* yang akan disambungkan ke *roll stand* (ditunjukkan pada Gambar 2.16). *Spindle support* ini penting untuk menjaga keseimbangan, keselarasan putaran *rolling mill*. Pada *spindle support*

terdapat *bearing* sebagai penyangga *spindle*, agar *spindle* berputar dengan lancar dan dengan gesekan minimal. *Bearing* diletakkan pada rumah *bearing* atau *housing bearing*. *Housing bearing* ini akan ditahan oleh *load chain* atau rantai dan pegas/*spring*.



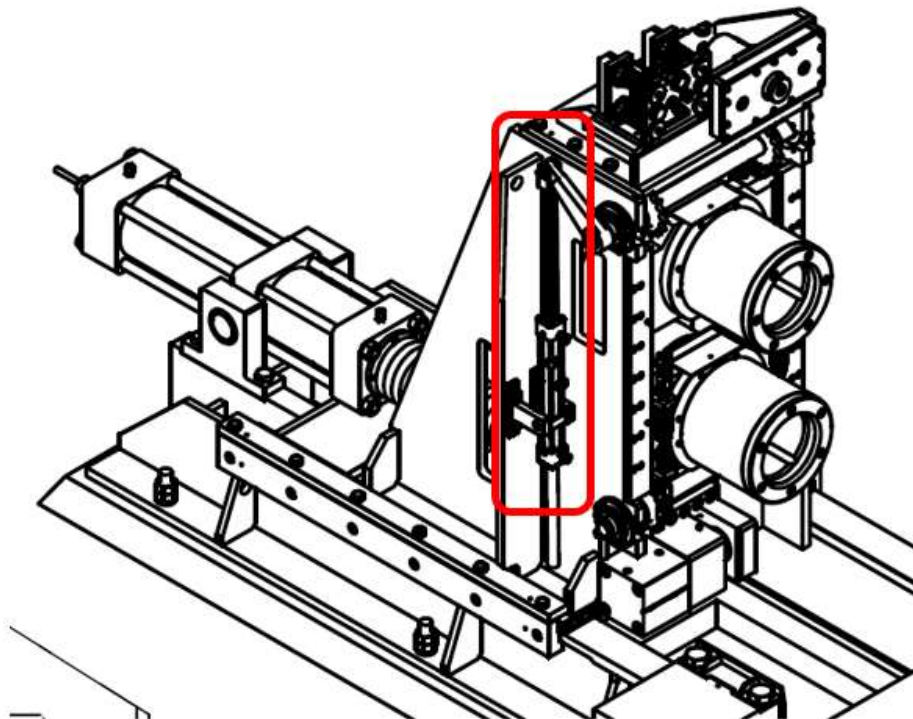
**Gambar 2. 16** *Spindle Support* [8]

Untuk menahan beban aksial dan horisontal maka *housing bearing* akan diapit atau ditahan oleh rel. Karena *spindle* berputar maka akan terjadi gesekan ke arah aksial, horisontal dan vertikal, untuk mengurangi efek gesekan pada *housing bearing*, maka *housing bearing* dilapisi oleh *liner* pada sisi aksial yang diapit oleh *slide rel*. *Liner* dapat diatur ketebalannya dengan mengikuti jarak *housing bearing* dengan *slide rel*. Jarak *liner* dengan *slide rel* tidak boleh besar karena akan mempengaruhi kestabilan putaran *spindle* dan roll stand.



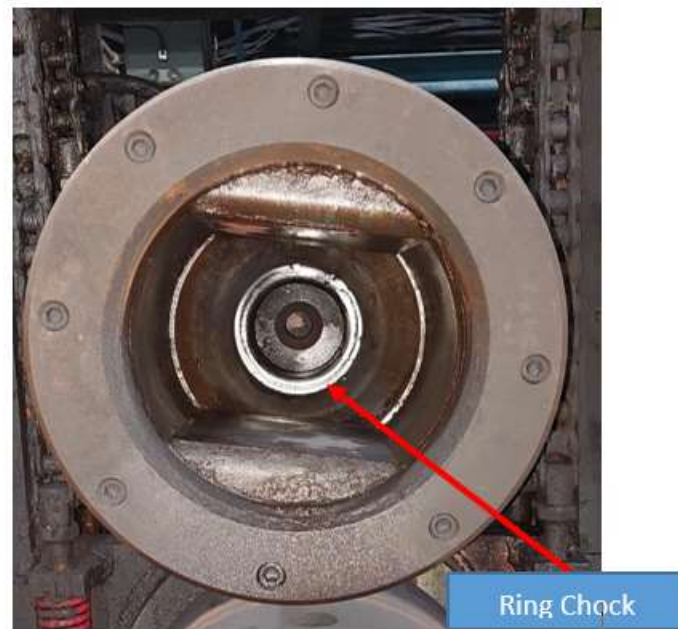
**Gambar 2. 17** *Liner Spindle Support* [8]

Pada *rolling mill* ini terdapat dua *spindle* (atas dan bawah), maka dari itu masing masing *spindle* harus dipasang *housing bearing*. Pada prosesnya jarak *spindle* atas dan bawah akan diatur sesuai diameter roll *rolling mill* yang dipakai. Untuk besar kecil jarak *spindle* digerakkan oleh hidrolik silinder, ditunjukkan pada Gambar 2.18.



**Gambar 2. 18** Hidrolik silinder *Spindle Support* [8]

*Roll stand* akan masuk ke dalam *chock spindle* (ditunjukkan pada Gambar 2.19), dimana *chock spindle* menopang roll, dan akan memberikan momen putar dari *spindle* ke *roll stand*. Di dalam *chock spindle* terdapat liner yang berbentuk bundar yang disebut *ring chock*. *Clearance ring chock* dengan roll tidak boleh terlalu besar, karena akan mempengaruhi kestabilan putaran roll stand.

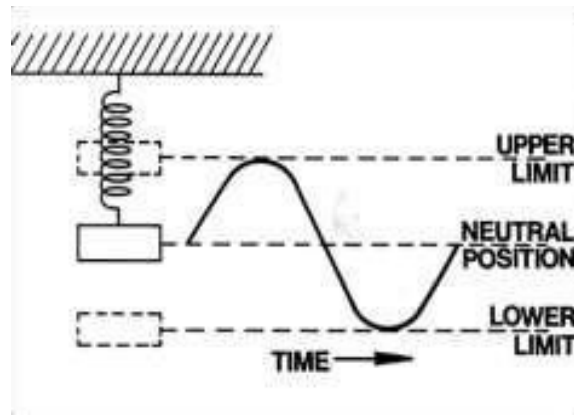


**Gambar 2. 19** *Chock Spindle*

## **2.9 Pengertian Vibrasi**

Getaran mekanis (*Mechanical Vibration*) diartikan sebagai gerakan bolak-balik dari komponen mekanik dari suatu mesin sebagai reaksi dari adanya gaya dalam (gaya yang dihasilkan oleh mesin tersebut) maupun gaya luar (gaya yang berasal dari luar atau sekitar mesin). Getaran dapat bersifat periodik, seperti gerakan pendulum, atau acak. Getaran tersebut mempunyai amplitudo (jarak simpangan terjauh dengan titik tengah) yang sama.[15] Ilustrasi sederhana dari

getaran adalah pegas dengan sebuah beban, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.20. Pada posisi netral (*neutral position*) maka pegas akan merenggang untuk mengimbangi beban.



**Gambar 2. 20** Ilustrasi getaran dan gelombang [16]

Jika pegas ini diberi gaya seketika dengan menariknya beban misalkan pada posisi bawah (*lower position*) kemudian langsung dilepaskan akan membuat beban bergerak bolak-balik dari posisi bawah menuju posisi atas dan seterusnya guna mengimbangi gaya seketika tersebut. Gerakan dari beban yang bergerak bolak-balik akan membentuk sebuah gelombang dengan domain waktu. Kasus yang dominan dalam getaran permesinan adalah yang disebabkan oleh gaya eksitasi getaran yang berasal dari mesin tersebut, diantaranya [9] :

- a. Kondisi yang tak seimbang (*unbalance*) baik yang statik maupun dinamik pada mesin tersebut.
- b. Cacat yang terjadi pada elemen-elemen rotasi.
- c. Ketidaksempurnaan bagian/fungsi mesin tersebut atau kelonggaran mekanis.

Mesin yang ideal akan bergetar relatif rendah karena energi yang diterimanya digunakan sepenuhnya untuk kefungsiannya mesin itu sendiri. Dalam praktek mesin yang dirancang dengan baik, getarannya relatif rendah namun untuk jangka pemakaian yang lama akan terjadi kenaikan level getaran karena hal berikut :

- a. Keausan pada elemen mesin.
- b. Proses pemantapan pondasi (*base plate*) sedemikian rupa sehingga terjadi deformasi dan mengakibatkan *misalignment* pada poros.
- c. Perubahan perilaku dinamik pada mesin sehingga terjadi perubahan frekuensi pribadi.
- d. Sebagai objek yang memiliki massa dan elastisitas, mesin pun dapat mengalami vibrasi hingga derajat tertentu.

Terkait dengan hal ini, ada dua jenis vibrasi atau getaran yang umum ditemukan, yakni:

- a. Getaran bebas

Jenis getaran ini terjadi karena objek berosilasi, tepatnya karena gaya di dalam objek bekerja sendiri (*inherent*). Dengan kata lain, getaran bebas terjadi tanpa adanya stimulus dari luar objek. Gaya bekerja karena adanya sebuah sistem dinamis yang terbentuk dari distribusi massa.

- b. Getaran paksa

Jika getaran bebas terjadi tanpa adanya stimulus dari luar objek, getaran paksa justru sebaliknya. Getaran ini muncul karena adanya stimulus dari luar objek. Gaya dari luar objek berosilasi dengan frekuensi stimulus sehingga memaksa sistem di dalam objek untuk bergetar.

Getaran adalah masalah umum dalam peralatan berputar, termasuk *rolling mill*. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi vibrasi atau getaran pada *rolling mill* proses, yaitu :

a. Parameter struktural.

Dimana terdapat perubahan atau pergeseran struktur mesin, seperti baut angkur kendur atau dudukan mesin rusak.

b. Deformasi plastik.

Deformasi plastik sendiri terjadi ketika benda mengalami perubahan bentuk secara permanen akibat tekanan atau gaya yang diberikan pada benda tersebut. Vibrasi pada bearing dapat terjadi akibat deformasi plastik pada permukaan bearing. Vibrasi pada *universal joint shaft* dapat terjadi karena *clearance gear* pada *spline shaft* terlalu besar dan *contact surface* terlalu pendek.

c. Resonansi internal.

Resonansi terjadi ketika frekuensi yang dihasilkan sama dengan frekuensi alami sehingga dapat meningkatkan nilai getaran. Resonansi internal adalah jenis resonansi dimana suatu sistem atau objek mengalami getaran yang lebih kuat pada frekuensi atau kecepatan tertentu yang merupakan frekuensi alami sistem itu sendiri. Frekuensi alami adalah frekuensi dimana objek bergetar bebas ketika terganggu. Penggunaan perangkat peredam getaran, perubahan frekuensi operasi, dan perancangan yang tepat adalah beberapa cara untuk mengatasi masalah resonansi internal.

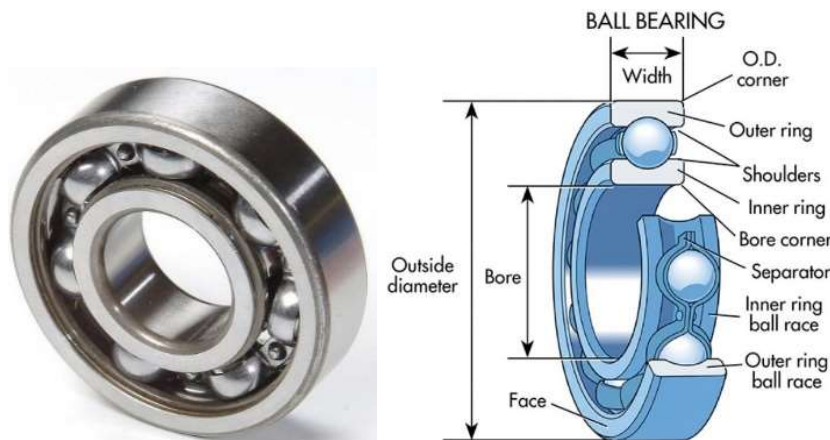
d. *Bearing*

*Bearing* atau bantalan adalah sebuah elemen mesin yang berfungsi untuk membatasi gerak relatif antara dua atau lebih komponen mesin agar selalu

bergerak pada arah yang diinginkan. *Bearing* menjaga poros agar selalu berputar terhadap sumbu porosnya, atau juga menjaga suatu komponen yang bergerak linier agar selalu berada pada jalurnya. *Bearing* juga berfungsi untuk mengurangi gesekan antar dua komponen mesin yang bergerak, sehingga dapat memperpanjang umur mesin. *Bearing* terbagi ke dalam beberapa jenis tergantung pada beban yang diterima serta memiliki sejumlah bagian dengan fungsi yang berbeda. Beberapa jenis bearing antara lain [9] :

- *Bearing bola atau ball bearing*

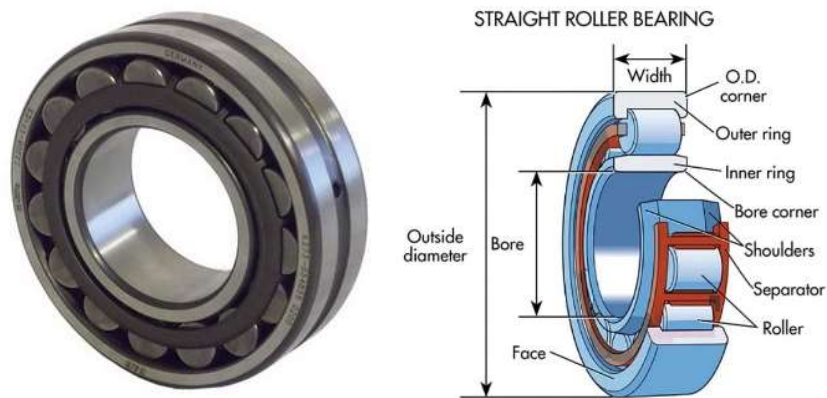
*Bearing* ini menggunakan bola sebagai elemen berputarnya (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.21). *Bearing* ini punya kinerja sederhana namun gerak putarnya efektif. Sehingga menjadi *bearing* yang paling banyak dipakai karena bisa menangani beban putar (beban radial) maupun beban tekan dari samping (beban aksial). Meski punya kemampuan bagus, *bearing* bola dapat menahan beban radial dan aksial yang ringan hingga sedang.



**Gambar 2. 21** *Ball Bearing* [9]

- *Roller Bearing*

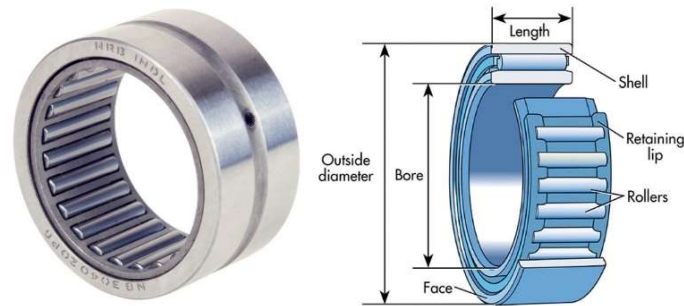
*Bearing* ini menggunakan *roller* yang dapat menahan beban radial yang berat (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.22). Rollernya berbentuk silinder sehingga bagian yang bersinggungan antara inner dan outer race tidak hanya pada satu titik, namun satu garis. Sehingga penyebaran bebannya berada di sepanjang garis tersebut yang memungkinkan bearing untuk menahan beban yang lebih besar dibandingkan ball bearing. Namun bearing ini tidak didesain untuk menangani beban dorong.



**Gambar 2. 22** *Roller Bearing* [9]

- *Needle Bearing*

*Bearing* ini menggunakan *roller* kecil seperti jarum sebagai elemen berputarnya (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.23). *Needle bearing* dapat menahan beban radial yang tinggi namun beban aksialnya rendah.



**Gambar 2. 23** *Needle Bearing* [9]

- *Thrust Bearing*

*Bearing* ini dirancang untuk menahan beban aksial yang tinggi namun beban radialnya rendah.



**Gambar 2. 24** *Thrust Bearing* [9]

- *Plain Bearing*

*Bearing* ini menggunakan permukaan rata sebagai elemen berputarnya (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.25). *Plain bearing* dapat menahan beban radial dan aksial yang rendah dan biasanya digunakan pada mesin-mesin yang bergerak lambat.



**Gambar 2. 25** *Plain Bearing* [9]

Beberapa faktor yang dapat menyebabkan vibrasi pada *bearing* yaitu [5]:

- Tegangan pada *bearing*. Jika beban yang dikenakan pada *bearing* terlalu besar atau tidak merata, bisa menyebabkan getaran berlebih dan keausan yang lebih cepat pada *bearing*.
- Toleransi dan kesalahan pemasangan. Ketika *bearing* tidak dipasang dengan benar, misalnya jika tidak sesuai toleransi yang ditentukan atau tidak diposisikan dengan benar, bisa menyebabkan getaran dan masalah lain pada mesin.
- Kualitas *bearing*. *Bearing* berkualitas rendah atau palsu mungkin memiliki ketidaksempurnaan struktural yang dapat menyebabkan getaran yang tidak diinginkan.
  - Keausan dan kerusakan. *Bearing* yang sudah aus, rusak, atau tidak berfungsi dengan baik akan menghasilkan getaran yang tidak normal. Ini bisa disebabkan oleh lubang pelumas yang tidak memadai, kerusakan fisik pada *bearing*, atau faktor-faktor lingkungan yang

merusak *bearing*. Untuk menjaga bearing agar tidak cepat aus, maka harus diberi pelumas, dalam hal ini yang biasa digunakan yaitu grease.

## **2.10 *Unbalance* atau Ketidakseimbangan**

Dalam aplikasi mesin industri, ketidakseimbangan dapat terjadi pada bagian-bagian berputar, seperti kipas, impeller, poros. Jika massa benda yang berputar tidak seimbang, getaran yang dihasilkan dapat merusak sistem dan menyebabkan keausan berlebih pada bantalan dan bagian-bagian lainnya. *Unbalance* dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti kesalahan dalam pembuatan (misalnya kesalahan dalam proses *machining*), kerusakan pada komponen mesin atau kesalahan dalam perawatan mesin (misalnya ketidakseimbangan pada komponen yang dipasang), korosi dan keausan. Vibrasi dominan yang muncul karena *unbalance* yaitu vibrasi radial (horisontal dan vertikal), vibrasi aksial kecil.

Beberapa cara untuk mengatasi *unbalance* pada mesin antara lain :

- a. Melakukan *balancing* pada elemen yang berputar, seperti rotor atau *impeller*.
- b. Memperbaiki atau mengganti komponen mesin yang rusak atau tidak seimbang.
- c. Melakukan perawatan mesin secara teratur untuk mencegah terjadinya *unbalance* pada komponen mesin.

## 2.11 Kelonggaran Mekanis

Kelonggaran mekanis adalah fenomena ketidakseimbangan pada mesin yang terjadi ketika ada kelonggaran atau clearance berlebih pada elemen mesin.[17] Kelonggaran mekanis dapat menyebabkan getaran pada peralatan yang berputar, termasuk *rolling mill*. Kelonggaran mekanis dapat disebabkan oleh ketidaksejajaran horizontal dan vertikal serta axial, baut yang longgar, atau bantalan yang aus.

Beberapa contoh kelonggaran mekanis yang umum terjadi pada *rolling mill* :

- a. Celah pada *bearing*. Jika ada celah antara bola/*roller bearing* dengan jalur atau *inner bearing* dengan *shaft*, maka ketika beban berputar, *bearing* bisa bergerak atau bergetar dalam celah tersebut.
- b. Sambungan longgar. Sambungan antara dua komponen yang longgar atau tidak cukup kencang dapat menyebabkan gerakan yang tidak terkendali dan getaran selama operasi. Contohnya seperti baut angkur yang longgar, sambungan baut-baut pada komponen yang longgar.
- c. *Out of tolerance*. Ketika bagian-bagian struktural pada mesin tidak dipasang dengan benar atau mengalami penurunan kualitas, dapat menyebabkan kelonggaran yang menyebabkan getaran berlebih. Pada *rolling mill*, *housing bearing* bagian atas dan bawah digantung menggunakan rantai (*chain*) dan dijepit oleh rail yang diberikan gap atau *clearance* sesuai desain. Karena gesekan yang berulang kali, maka gap/*clearance* menjadi besar atau *out of tolerance*.

Untuk mengatasi masalah getaran akibat kelonggaran mekanis, beberapa langkah yang dapat diambil termasuk :

- a. Melakukan pemeriksaan rutin pada mesin atau peralatan untuk mendeteksi dan mengatasi kelonggaran mekanis sejak dini.
- b. Memberikan pelumasan yang tepat pada *bearing* dan komponen yang berputar serta bergesekan.
- c. Memastikan bahwa sambungan antara komponen dipasang dengan benar dan cukup kencang untuk mengurangi kelonggaran. Seperti pengencangan sambungan baut dan angkur.
- d. Memperkecil *gap/clearance* pada komponen mesin yang berpotensi menimbulkan getaran horisontal, vertical maupun aksial.
- e. Memasang alat atau perangkat penyerap getaran, untuk meredam getaran.
- f. Menggunakan teknologi analisis getaran untuk mendeteksi kelonggaran mekanis dan mengambil tindakan perbaikan yang tepat. Tetapi hal ini cukup mahal untuk dilakukan.

## **2.12 Penyerap Getaran atau *Vibrasi Absorber***

Perangkat atau alat penyerap getaran merupakan teknologi yang dapat digunakan untuk meredam getaran pada *rolling mill*. Perangkat peredam getaran dipasang pada braket atau yang dikenal juga dengan sebutan *spindle support*. Alat penyerap getaran dapat secara efektif meningkatkan stabilitas sistem *rolling mill*.

Peredam getaran ini dapat memutus getaran berlebih yang biasa dihasilkan dari poros atau bearing ke roll stand *rolling mill*.

Saat memilih perangkat penyerap getaran untuk *rolling mill*, faktor-faktor berikut harus dipertimbangkan :

- a. Jenis penyerap. Ada berbagai jenis peredam getaran, termasuk hidrolik, dudukan karet, pegas, dan bantalan. Jenis penyerap harus dipilih berdasarkan kebutuhan spesifik dari sistem *rolling mill*.
- b. Frekuensi getaran. Frekuensi getaran merupakan faktor penting untuk dipertimbangkan saat memilih perangkat penyerap getaran. Penyerap harus dirancang agar sesuai dengan frekuensi getaran yang dihasilkan oleh sistem *rolling mill*.
- c. Kapasitas redaman. Kapasitas redaman penyerap merupakan faktor penting lain yang perlu dipertimbangkan. Penyerap harus memiliki kapasitas redaman yang cukup untuk secara efektif menyerap energi getaran yang dihasilkan oleh sistem *rolling mill*.
- d. Kompatibilitas. Perangkat penyerap getaran harus kompatibel dengan sistem *rolling mill* dan tidak boleh mengganggu pengoperasian sistem.
- e. Biaya. Biaya perangkat peredam getaran juga harus dipertimbangkan. Penyerap harus hemat biaya dan harus memberikan pengembalian investasi yang baik.

Jenis-jenis perangkat *vibration absorber* yang dapat digunakan pada *rolling mill* :

- a. Penyerap hidrolik. Penyerap jenis ini menggunakan sistem hidrolik untuk menyerap energi getaran.
- b. Pegas. Pegas juga dapat digunakan sebagai peredam getaran.
- c. Bantalan. Bantalan adalah komponen lain yang dapat digunakan sebagai peredam getaran.
- d. *Dynamic Vibration Absorber* (DVA). DVA adalah perangkat mekanis yang digunakan untuk mengurangi atau meminimalkan getaran yang tidak diinginkan.
- e. Dudukan karet. Dudukan karet adalah komponen yang dapat digunakan sebagai peredam getaran.

Sebelumnya untuk peredam getaran yang khususnya membutuhkan elastisitas yang cukup tinggi, dudukan karet adalah solusinya. Menggunakan karet sebagai bahan utama, karena bahannya yang elastis yang efektif menyerap getaran. Dengan perkembangan teknologi yang ada sekarang, untuk peredam getaran dengan kategori dudukan karet harus mempertimbangkan beberapa aspek selain tingkat elastisitasnya, seperti tahan terhadap abrasi/gesekan, berat dari bahan, rigiditas, tahan terhadap temperatur yang lumayan panas, dan lain-lain. Dalam hal ini dikembangkanlah suatu bahan yang disebut polimer. Polimer merupakan istilah yang berasal dari bahasa Yunani "polus" yang berarti "banyak" dan "meros" yang berarti "bagian". [18]

Berdasarkan asalnya, polimer dapat dibedakan atas polimer alam dan polimer sintesis. Polimer alam adalah polimer yang terdapat di alam dan berasal dari makhluk hidup. Sifat-sifat polimer alam kurang menguntungkan. Contohnya, karet alam kadang-kadang cepat rusak, dan struktur berombak. Hal tersebut dapat terjadi karena karet alam tidak tahan terhadap minyak bensin atau minyak tanah sertalama terbuka di udara. Contoh lain, sutra dan wol merupakan senyawa protein bahan makanan bakteri, sehingga wol dan sutra cepat rusak. Umumnya polimer alam mempunyai sifat hidrofilik (suka air), sukar dilebur dan sukar dicetak, sehingga sangat sukar mengembangkan fungsi polimer alam untuk tujuan-tujuan yang lebih luas dalam kehidupan masyarakat sehari-hari.[18]

Polimer sintesis atau polimer buatan adalah polimer yang tidak terdapat di alam dan harus dibuat oleh manusia. Polimer terbentuk dari molekul-molekul kecil yang disebut monomer, yang bergabung bersama melalui reaksi kimia untuk membentuk rantai panjang atau jaringan yang disebut polimer. Polimer sintetis memiliki sifat yang unik karena struktur molekulnya yang besar dan panjang. Beberapa sifat yang khas dari polimer sintetis adalah elastisitas, fleksibilitas, kekuatan tarik, tahan terhadap korosi, isolasi listrik, dan berbagai karakteristik lainnya. Sifat-sifat ini memungkinkan polimer digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti plastik, karet, serat tekstil, bahan kimia, bahan pelapis, dan banyak lagi. Pengaplikasian polimer tergantung dari campuran kimia yang disatukan pada proses kimiawi. Polimer juga dapat dimodifikasi dengan menambahkan bahan tambahan seperti penguat serat atau pengisi untuk meningkatkan sifat-sifatnya. Modifikasi ini dapat menghasilkan polimer dengan kekuatan, kekakuan, atau

elastisitas yang lebih tinggi. Polimer memainkan peran penting dalam industri dan kehidupan sehari-hari kita karena banyak keunggulannya, seperti ringan, tahan lama, dan mudah dibentuk menjadi berbagai bentuk yang berbeda.

Contoh polimer yang umum termasuk polietilena, polipropilena, polivinil klorida (PVC), polistirena, nilon, poliester, dan poliuretan.[18]

- a. Polietilena adalah polimer termoplastik yang paling banyak digunakan di dunia. Polietilena memiliki rumus kimia  $(C_2H_4)_n$ , di mana "n" dapat memiliki nilai yang berbeda, dan berbagai jenis polietilena dapat dihasilkan dengan menggabungkan berbagai nilai "n". Polietilena memiliki sifat fisik yang berbeda tergantung pada jenisnya, tetapi secara umum, polietilena adalah polimer yang lunak, fleksibel, dan tahan terhadap bahan kimia. Polietilena digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk kemasan, pipa, dan produk-produk plastik lainnya.
- b. Polipropilena atau polipropena (PP) adalah polimer termoplastik yang terbuat dari monomer propilena. Polipropilena memiliki sifat kaku, tidak berbau, dan tahan terhadap bahan kimia. Polipropilena digunakan dalam berbagai aplikasi, di antaranya pengemasan, tekstil, alat tulis, berbagai tipe wadah terpakaikan ulang serta bagian plastik, perlengkapan laboratorium, pengeras suara, komponen otomotif, dan uang kertas polimer. Polipropilena juga memiliki permukaan yang relatif halus, yang dapat menggantikan beberapa produk plastik lainnya.
- c. Polivinil klorida (PVC) adalah polimer termoplastik yang banyak digunakan di berbagai industri. PVC juga digunakan dalam pembuatan

pipa air dan gas. Pipa PVC tahan terhadap korosi dan memiliki umur pakai yang panjang. PVC diproduksi melalui polimerisasi monomer vinil klorida ( $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ ).

- d. Polistirena adalah polimer yang terbuat dari monomer stirena. Polistirena digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk kemasan, mainan, dan produk-produk elektronik. Polistirena juga dapat didaur ulang menjadi bahan-bahan baru, seperti kantong belanja dan wadah makanan.
- e. Nilon adalah polimer yang tersusun atas heksametilen diamina dengan asam adipat melalui polimerisasi kondensasi. Seperti kita ketahui bersama nilon digunakan sebagai bahan tali, kain, benang, parasut, dan jala.
- f. Poliuretan, yang umumnya disingkat PU, adalah polimer yang terdiri atas sebuah rantai unit organik yang dicampur dengan uretana (karbamat). Formula poliuretan meliputi kekakuan, kekerasan, serta kepadatan yang amat beragam. Bahan-bahan ini di antaranya adalah busa fleksible berdensitas (kepadatan) rendah yang digunakan dalam bekleding dan pelapisan. Busa kaku berdensitas rendah yang digunakan untuk isolasi termal dan dasbor mobil. Elastomer padat yang empuk yang digunakan untuk bantalan gel serta penggiling cetakan. Plastik padat yang keras yang digunakan sebagai bagian struktural dan bezel instrumen elektronik.

### **2.13 Poliuretan**

Poliuretan digunakan secara meluas dalam dudukan busa fleksibel berdaya lenting (daya pegas) tinggi, panel isolator busa yang kaku, segel busa mikroseluler dan gasket, roda dan ban karet yang tahan lama, senyawa pot elektrik, segel

dan lem berkinerja tinggi, serat spandeks, alas karpet, dan bagian plastik yang keras. Berbagai produk dari poliuretan sering disebut "uretana".

Poliuretan adalah suatu bahan campuran atau hasil pengisolvenan antara karet dan plastik sehingga didapatkan pelarutan material yang memiliki keunggulan sangat tahan gesek, tahan aus, tahan terhadap beberapa kimia ringan, stabil dalam suhu dingin dan panas. Kimia suatu bahan atau campuran yang didalamnya terdapat kandungan nitrogen, karbon dioksida dan oksigen. Poliuretan merupakan bahan polymeric yang mengandung berbagai kumpulan urethane ( $\text{-NH-CO-O-}$ ) yang terbentuk dari reaksi antara polyol (alkohol dengan lebih dari dua grup hidroksil reaktif per molekul) dengan diisocyanate atau polymeric isocyanate dengan ketersediaan katalis yang sesuai serta bahan-bahan tambahan. Poliuretan untuk pertama kalinya dikembangkan sebagai pengganti karet. Keanekaragaman kegunaan polimer organik baru ini serta kemampuannya dalam menggantikan bahan-bahan yang langka, telah mendorong penggunaannya secara luas. Selama Perang Dunia II, bahan pelapis poliuretan digunakan sebagai pengisi kertas dan mostar (pelapis) pada industri pakaian tahan udara, bahan pengkilat pada finishing pesawat terbang, dan pelapis anti bahan kimia dan karat pada besi, kayu dan bagian bahan bangunan yang menggunakan batu (seperti pondasi dan tembok). Saat ini poliuretan diproduksi dan digunakan dalam skala industri, dan dapat dipesan dengan diformulasikan untuk kegunaan tertentu. Poliuretan dapat ditemukan pada bahan pelapis dan bahan perekat, elastomers, dan busa yang keras.

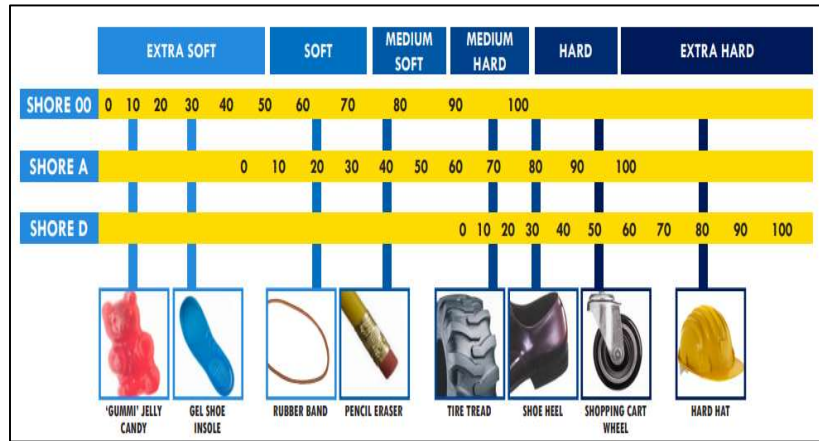
Poliuretan memiliki keunikan karakteristik tersendiri serta memiliki beberapa keunggulan dibandingkan material lain untuk menghasilkan dan atau mendukung suatu proses kegiatan produksi. Poliuretan juga bisa dinilai sebagai material yang bisa digunakan dengan konsumsi energi yang rendah dan relatif membuat pengeluaran atas perbaikan dan perawatan mesin-mesin maupun perlengkapan-perengkapan pabrik menjadi lebih murah dan efisien karena keunggulan dan sifat sifat yang dimilikinya.

Beberapa keunggulan poliuretan :

- a. Kekerasannya sangat beragam yaitu dari *shore* A sampai dengan *shore* D.
- b. Tahan gesek.
- c. Cocok untuk heavy duty industry.
- d. Kekenyalan yang sangat baik.
- e. Tetap flexible pada temperature rendah.
- f. Kemampuan isolasi yang baik.
- g. Tahan terhadap oli, *grease* dan beberapa bahan kimia lainnya.

Karena keunggulan-keunggulan poliuretan diatas, poliuretan adalah senyawa yang ideal untuk penyerapan dan redaman getaran. Secara keseluruhan, poliuretan adalah bahan serbaguna yang menawarkan sifat penyerapan dan redaman getaran yang sangat baik, efektif dalam menyerap dan menghilangkan energi getaran, mengurangi transmisi getaran dan meminimalkan dampak pada peralatan dan mesin.menjadikannya pilihan populer untuk aplikasi di mana kontrol getaran sangat penting.

Kekerasan poliuretan dideskripsikan menggunakan skala kekerasan *Shore*. [19]



**Gambar 2. 26** Skala kekerasan *Shore* [20]

Kekerasan *shore* terbagi menjadi 3 kelas, yaitu *Shore 00*, *Shore A*, *Shore D* (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.26).

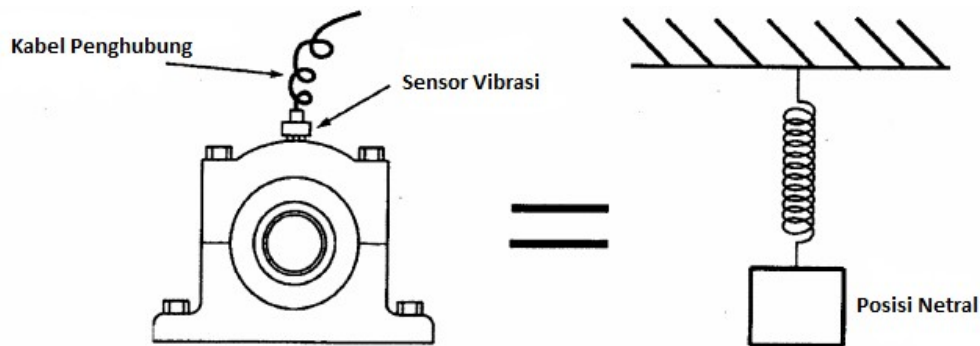
Skala Kekerasan *Shore 00* mengukur karet dan gel yang sangat lembut. Skala Kekerasan *Shore A* mengukur kekerasan karet cetakan fleksibel yang berkisar dalam kekerasan dari sangat lunak dan fleksibel, hingga sedang dan agak fleksibel, hingga keras dengan hampir tidak ada fleksibilitas sama sekali. Plastik semi-kaku juga dapat diukur pada ujung tinggi *Shore A Scale*. Skala kekerasan *Shore D* mengukur kekerasan karet keras, plastik semi-kaku, dan plastik keras.

**Tabel 2. 1** Properti material poliuretan [19]

| Properties                                  | Units                 | PU60A      | PU20       | Grade<br>PU30 | PU40       | PU50       | PU70D       |
|---------------------------------------------|-----------------------|------------|------------|---------------|------------|------------|-------------|
| <b>General</b>                              |                       |            |            |               |            |            |             |
| Colour                                      |                       | Light Blue | Orange     | Yellow        | Red        | Black      | Dark Blue   |
| Specific gravity                            | gm/cm <sup>3</sup>    | 1.24       | 1.25       | 1.07          | 1.1        | 1.14       | 1.11        |
| Continuous service temperature              | °C                    | 80-85      | 80-85      | 85-90         | 85-90      | 85-90      | 85-90       |
| Melting point                               | °C                    | 130-170    | 130-170    | 130-170       | 130-170    | 130-170    | 130-170     |
| Brittle temperature                         | °C                    | <-70       | <-70       | <-70          | <-70       | <-70       | <-70        |
| UV resistance                               |                       | V/good     | V/good     | V/good        | V/good     | V/good     | V/good      |
| <b>Mechanical</b>                           |                       |            |            |               |            |            |             |
| Tear strength - die C                       | pli / (kN/m)          | 190 / (33) | 270 / (47) | 320 / (56)    | 430 / (75) | 500 / (87) | 800 / (140) |
| Hardness                                    | Shore A               | 60-70      | 75         | 80            | 90         | 95         | 70 Shore D  |
| Co-efficient of friction - dry <sup>1</sup> |                       | .9         | .8         | .5            | .32        | .25        | .2          |
| Tensile - break                             | Kgf / cm <sup>2</sup> | 250        | 385        | 350           | 320        | 350        | 630         |
| Tensile - 100% modulus                      | Kgf / cm <sup>2</sup> | 19         | 26         | 56            | 77         | 127        | 327         |
| Tensile - 300% modulus                      | Kgf / cm <sup>2</sup> | 39         | 33         | 106           | 148        | 240        | -           |
| Tensile - elongation                        | %                     | 460        | 700        | 490           | 450        | 400        | 210         |
| Abrasion index <sup>2</sup>                 |                       | 50-55      | 50-55      | 40-50         | 30-40      | 30-40      | 30-40       |
| Compression set method B - 70%              | %                     | 3          | 36         | 25            | 27         | 40         | 10          |

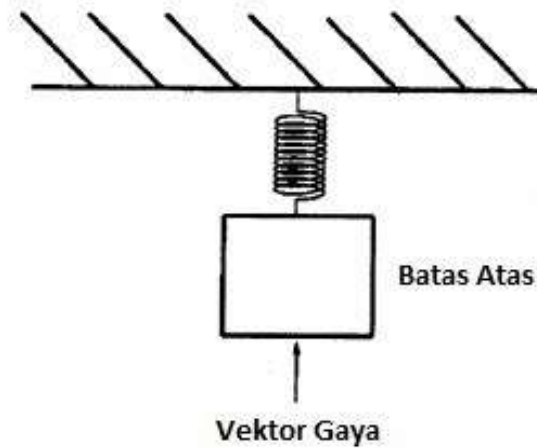
## 2.14 Alat Ukur Vibrasi

Vibrasi dapat menjadi masalah serius dalam banyak aplikasi industri dan teknik, karena dapat menyebabkan keausan berlebihan, kerusakan struktural, dan masalah kinerja lainnya. Dalam melakukan pengukuran vibrasi pada sebuah mesin, maka digunakan sebuah sensor yang diletakkan pada rumah *bearing*. Sensor tersebut akan mendeteksi vibrasi yang kemudian ditampilkan pada *analyzer* dalam bentuk sinyal. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.27, rumah *bearing* sebuah mesin yang dimodelkan dengan sebuah massa digantung pada sebuah *coil spring*.



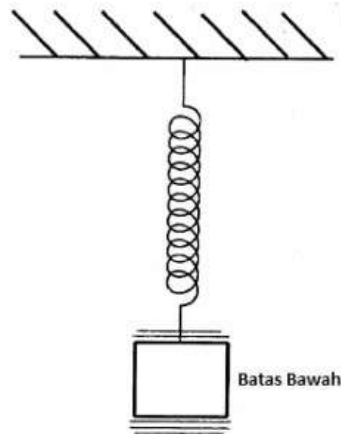
**Gambar 2. 27** Titik pengukuran vibrasi [21]

Massa tersebut akan tetap tergantung pada posisi yang netral sampai dipengaruhi oleh sebuah gaya. Ketika sebuah gaya mempengaruhi massa (sebagai contoh pada kasus ini adalah vektor gaya ke arah atas) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.28, maka massa akan bergerak ke atas dan pegas akan memberikan gaya untuk memampatkan massa tersebut.



**Gambar 2. 28** Ilustrasi vibrasi mencapai batas atas [21]

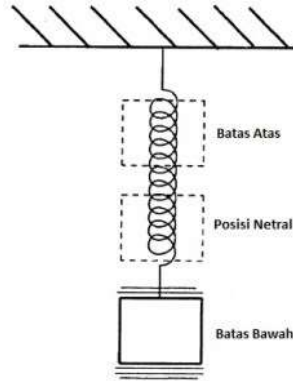
Dalam ilustrasi vibrasi diilustrasikan dalam massa. Ketika massa telah mencapai batasan atas maka gaya akan dihilangkan sehingga massa akan bergerak ke bawah (jatuh) melewati posisi normal dengan batasan yang lebih rendah (batas bawah), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 29.



**Gambar 2. 29** Ilustrasi vibrasi mencapai batas bawah [21]

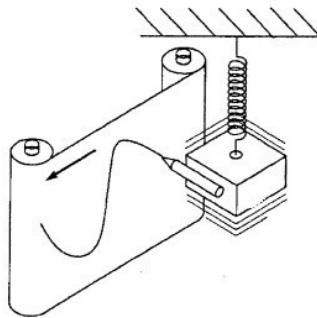
Selanjutnya ketika massa telah mencapai batas bawah, maka massa akan berhenti dan bergerak kembali lagi menuju batas atas dengan melewati posisi netral,

begitu seterusnya selama ada gaya yang mempengaruhi pergerakan massa tersebut  
Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.30.



**Gambar 2. 30** Ilustrasi pergerakan vibrasi [21]

Apabila sebuah ballpoint diletakkan pada massa yang melakukan gerakan bolak-baik seperti pada penjelasan di atas dan selembar kertas dijadikan sebagai strip chart recorder, maka akan tergambar gelombang sinusoidal yang merupakan efek dari gaya yang mempengaruhi massa tersebut. Setiap benda pasti mempunyai vibrasi namun perlu ditentukan seberapa besar vibrasi yang bisa ditoleransi dan yang tidak. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.31.

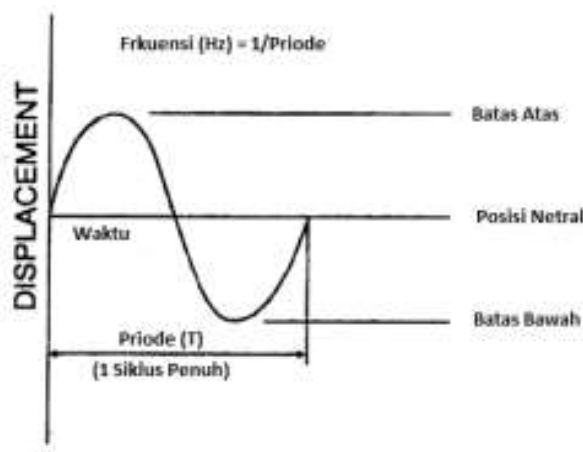


**Gambar 2. 31** Ilustrasi gelombang sinusoidal [21]

Untuk menentukan frekuensi yang terdapat pada gelombang tersebut maka dapat dihitung dengan cara menentukan priode waktu (T) pada satu siklus, kemudian frekuensi dapat diperoleh melalui persamaan :

$$f = 1/T$$

Untuk mempermudah pemahaman dari pembahasan di atas, dimisalkan gelombang yang diperoleh adalah Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.32.



**Gambar 2. 32** Siklus penuh gelombang vibrasi [21]

Berdasarkan gambar di atas, frekuensi ditunjukkan dengan satuan *Cycle per Minute* (CPM) atau *Cycle per Second* (CPS) atau *Radius per Minute* (RPM), yang sekarang disebut dengan *Hertz* (1 Hertz = 60 CPM = 60 RPM) dan secara umum *Hertz* disingkat dengan “Hz”.

a. Parameter Utama Pengukuran Vibrasi [30]

Terdapat tiga parameter utama dalam pengukuran vibrasi terhadap sebuah mesin, yaitu : *displacement*, *velocity* dan *acceleration* yang harus diperhatikan sebelum menganalisa penyebab terjadinya vibrasi yang tidak normal.

- *Displacement* (Jarak Vibrasi)

Adalah jarak yang ditempuh oleh gerakan bolak-balik (getaran) pada suatu periode waktu tertentu. Parameter ini didapatkan dengan melakukan pengukuran jarak pergeseran titik putar piringan yang disebabkan oleh gaya sentripetal melalui persamaan :

$$\text{Displacement } (\mu) = A \sin (2\pi ft)$$

Dimana,

A = Panjang jarak radius pergeseran. ( $\mu$ )

f = Frekuensi gerakan bolak-balik. (Hertz)

t = Waktu. (second)

Dalam pengukuran vibrasi, parameter displacement hanya dapat mengukur *peak to peak displacement*, yaitu jarak dari positif maximum ke negatif maximum atau sama dengan  $2 \times A$ .

- *Velocity* (Kecepatan Vibrasi)

Adalah kecepatan gerakan secara bolak balik pada suatu periode waktu tertentu. Parameter kecepatan selalu berubah sepanjang jarak yang ditempuhnya, dimana pada posisi positif maximum dan negatif maximum kecepatan adalah nol, sedangkan pada posisi gerakan melewati daerah netral kecepatan adalah maximum. Kecepatan vibrasi dapat ditentukan melalui persamaan.

$$\text{Velocity } (mm/s) = 2\pi f A \cos (2\pi ft)$$

Perlu diketahui bahwa dalam melakukan pengukuran, kecepatan vibrasi hanya dapat mengukur kecepatan maximum atau disebut *peak velocity*.

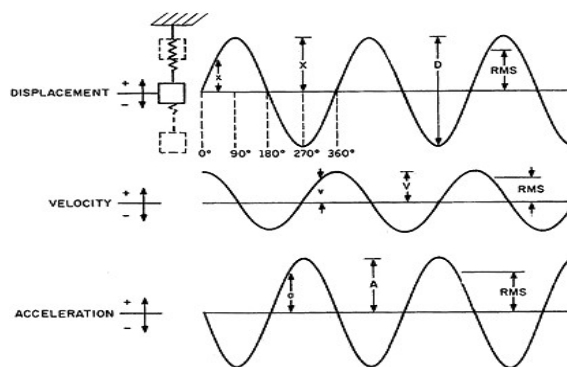
- *Acceleration* (Percepatan Vibrasi)

Adalah percepatan gerak secara bolak-balik pada suatu periode waktu tertentu. Percepatan selalu berubah sepanjang jarak yang ditempuhnya, dimana maximum pada saat displacement mencapai positif maximum atau mendekati negatif maximum. Percepatan vibrasi dapat ditentukan melalui persamaan.

$$Acceleration (mm/s^2) = - (2\pi f)^2 A \sin (2\pi ft)$$

Dalam melakukan pengukuran vibrasi, percepatan vibrasi hanya dapat mengukur percepatan vibrasi maximum atau disebut *peak acceleration*.

Dalam kondisi suatu mesin yang sedang bergetar, ketiga parameter ini selalu ada dan tidak bisa berdiri sendiri. Ketiganya mempunyai hubungan urutan diferensial mulai dari *displacement*, *velocity* dan *acceleration*. Ketiga rumusan itu telah diuraikan di atas, dan jika digambarkan masing-masing adalah merupakan kurva sinusoidal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.33.



**Gambar 2. 33** Hubungan *Displacement*, *Velocity*, *Acceleration* [22]

Dengan menggunakan sebuah *analyzer* yang canggih pada saat melakukan pengukuran terhadap vibrasi pada sebuah mesin, maka akan ditemukan grafik sinusoidal seperti di atas.

#### b. Alat Ukur Vibrasi

Untuk mengetahui seberapa besar vibrasi, memantau, menganalisa tingkat dan karakteristik vibrasi maka diperlukan suatu alat yang disebut alat ukur vibrasi. Ada banyak alat ukur vibrasi, antara lain :

- *Accelerometer*

Adalah sensor yang digunakan untuk mengukur percepatan getaran. *Accelerometer* dapat ditempatkan pada berbagai titik di suatu objek untuk mengukur getaran dalam tiga arah (sumbu x, y, dan z). Data yang diperoleh dari accelerometer biasanya digunakan untuk menganalisis karakteristik getaran, seperti frekuensi dan amplitudo.

- *Seismometer*

Merupakan jenis khusus dari *accelerometer* yang dirancang khusus untuk mendeteksi dan mengukur getaran bumi atau gempa bumi.

- *Velocimeter*

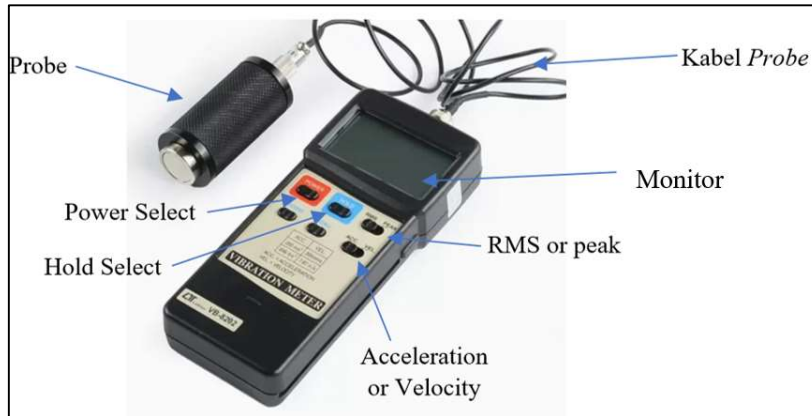
Alat ini mengukur kecepatan perubahan posisi suatu objek akibat getaran. Data kecepatan ini kemudian dapat diintegrasikan untuk mendapatkan data perpindahan.

- Vibrasi meter

Adalah perangkat portabel yang dapat mengukur amplitudo dan frekuensi getaran (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.34). Biasanya digunakan dalam pemantauan kondisi peralatan industri.

Sensor getaran dipasang pada bagian-bagian mesin yang cukup kaku untuk menghindari efek resonansi lokal bagian tersebut. Pengambilan data-data dengan alat sensor tersebut haruslah terlebih dahulu mengetahui bagian mana dari mesin tersebut yang paling tepat untuk pengukuran vibrasi. Tempat yang paling tepat tersebut adalah pada rumah *bearing*.

Cara kerjanya dimulai dengan menempatkan sensor atau *magnetic base* atau *probe* ke objek yang getarannya akan diukur. Lalu, secara cepat, sensor tersebut akan mengeluarkan sinyal voltase akibat dari getaran objek yang akan dihantarkan melalui kabel *probe* ke dalam *transmitter* di dalam vibrasi meter. Nilai vibrasi meter ini tidak dalam bentuk voltase, melainkan nilai vibrasi dalam bentuk *acceleration* (percepatan) atau *velocity* (kecepatan per satuan waktu). Nilai yang ditunjukkan vibrasi meter menunjukkan kuatnya getaran yang dihasilkan suatu benda yang diukur. Nilai vibrasi/getaran yang tinggi pertanda adanya kerusakan atau ketidakseuaian di dalam mesin. Dalam cara kerja vibrasi meter ini, ditemukan dua golongan efek getaran, yakni *hand arm vibration* dan *whole body vibration*. *Hand arm vibration* adalah efek getaran yang terasa di bagian lengan saja. Biasanya efek getaran ini muncul saat menggunakan mesin-mesin seperti gerinda, bor, gergaji listrik, dan mesin compactor. Sementara itu, *whole body vibration* merupakan efek getaran yang bisa dirasakan di seluruh tubuh. Efek ini umum dirasakan saat menggunakan mesin-mesin berat seperti misalnya alat kontraktor atau mesin pabrik yang getarannya terasa hingga ke lantai.



**Gambar 2. 34** Vibrasi meter

Cara mengukur getaran yang ditimbulkan mesin pada saat running/beroperasi dengan menggunakan vibrasi meter adalah sebagai berikut :

1. Pastikan kondisi mesin yang akan diukur dalam kondisi running
2. Kemudian On-kan power alat ukur vibrasi meter
3. Pilih satuan *velocity* (mm/s)
4. Kemudian tempelkan probe magnet pada titik pengukuran.
5. Lihat nilai angka besaran yang muncul pada layar vibrasi meter.
6. Apabila nilai angka naik turun, tunggulah sampai angka stabil dan berhenti di salah satu angka yang muncul.
7. Tulislah besaran pada form inspeksi sebagai list data.
8. Kemudian Off kan power vibrasi meter tersebut.
9. Lepaskan probe magnet dan proses pengukuran vibrasi selesai.

Pengambilan data vibrasi dilakukan dengan dua cara yaitu dengan cara aksial dan cara radial, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.35.

Pengambilan data secara aksial adalah menempatkan alat sensor pada arah aksial atau searah dengan poros (sumbu Z).[5]

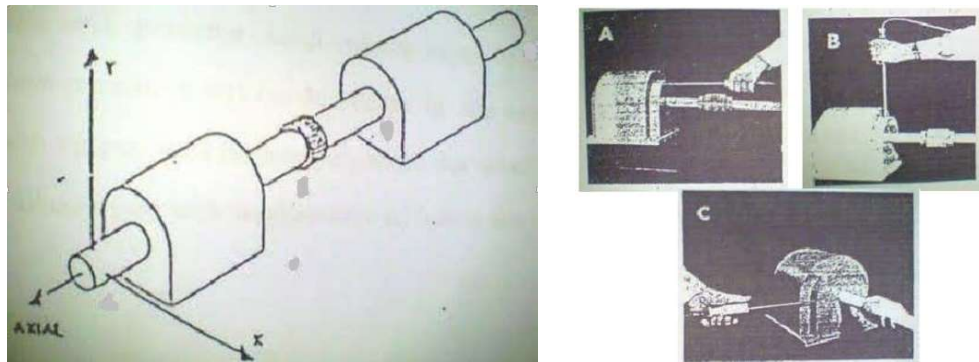
Cara radial sendiri terbagi menjadi 2 cara, yaitu :

- Horizontal. (Sumbu X)

Pengecekan secara horizontal dengan cara meletakkan alat sensor secara horizontal pada rumah *bearing*. Dari pengukuran ini dapat diketahui amplitudo yang paling tinggi.

- Vertikal (Sumbu Y)

Pengambilan data secara vertikal adalah dengan menempatkan alat sensor pada posisi vertikal atau berbanding  $90^\circ$  dengan arah horizontal pada rumah *bearing*. Pengambilan data secara vertikal ini akan menunjukkan amplitudo yang lebih rendah dibandingkan pengambilan data secara horizontal.



Keterangan: A. Aksial, B. Vertikal, C. Horizontal

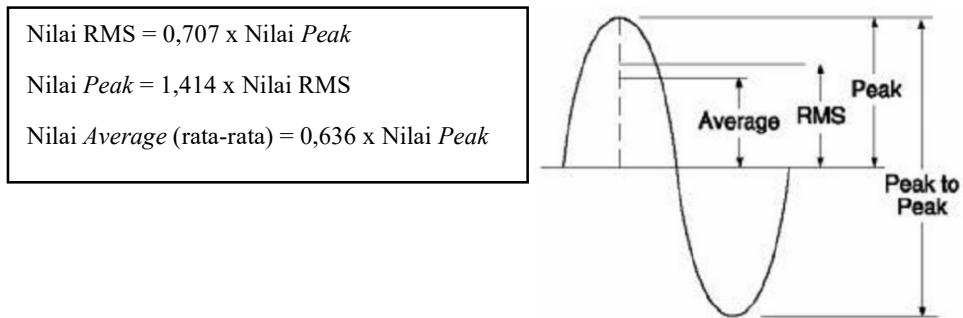
**Gambar 2. 35** Cara pengambilan data menggunakan sensor getaran [5]

Dalam pengukuran vibrasi, ada beberapa satuan yang digunakan, yaitu nilai *Peak to Peak* atau nilai *Root Means Square* (RMS). [4]

a. Nilai peak to peak

Nilai *Peak to peak* adalah satuan vibrasi dengan nilai amplitudo yang berasal dari gelombang sinusoidal, dihitung mulai dari batas atas hingga batas bawah. Nilai *peak* memberikan informasi tentang amplitudo maksimum dari getaran. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.36.

Biasanya satuan ini digunakan untuk mengukur perpindahan suatu gerakan dengan satuan mili atau mikron.



**Gambar 2. 36** Nilai *Peak to Peak* & RMS

b. Nilai *root means square* (RMS)

*Root means square* (RMS) adalah satuan vibrasi yang sering digunakan dalam klasifikasi tingkat keparahan getaran mesin. Nilai RMS mengukur energi efektif suatu mesin untuk menghasilkan getaran. Gerak sinusoida harga RMS adalah 0,707 kali harga peak. Sedangkan harga rata-rata gelombang sinusoida adalah 0,636 kali harga peak.

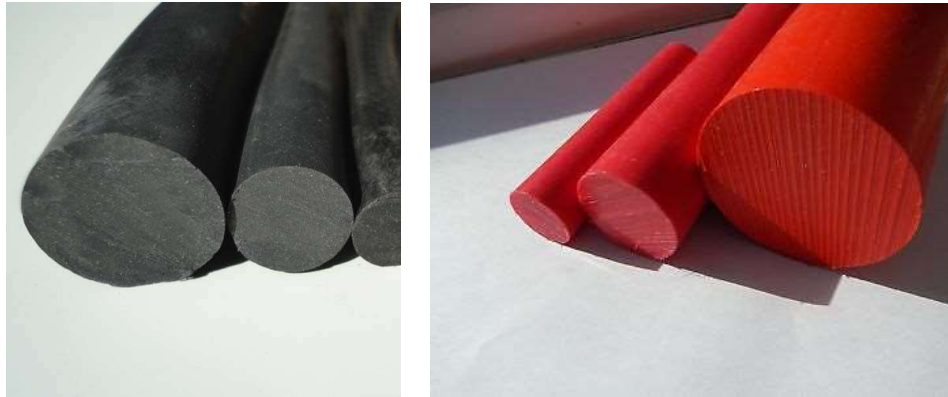
## **BAB III. METODE PENELITIAN**

### **3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian**

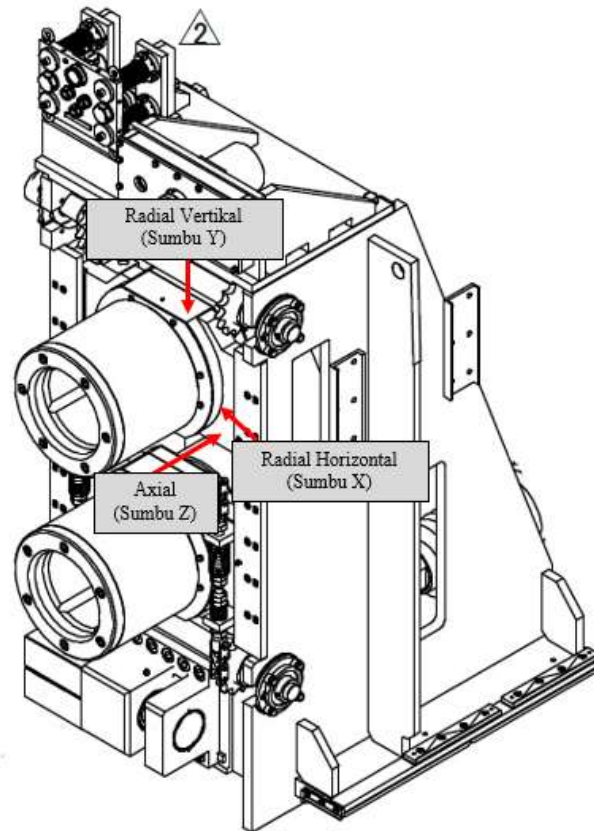
Penelitian, pengambilan dan analisa data dilaksanakan pada bulan November 2022 sampai dengan selesai. Pengambilan data lapangan dan literatur didapat sesuai fokus penelitian maka proses analisis dilakukan untuk mendapatkan kondisi mesin yang lebih baik dengan menurunkan vibrasi baik sumber vibrasi maupun dampak vibrasi. Pengambilan data diambil di pabrik PT. Krakatau Osaka Steel di Kota Cilegon Provinsi Banten.

### **3.2 Alat Dan Bahan Penelitian**

Pengamatan dan penelitian langsung pada obyek *spindle support stand* 18 (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2). Bila berhasil akan diaplikasikan pada semua *stand* yang mempunyai getaran yang cukup tinggi pada saat beroperasi, khususnya *finishing mill*. Penelitian ini berfokus pada kelonggaran mekanis yang terjadi pada saat mesin beroperasi, dimana akan dilakukan percobaan percobaan untuk menghilangkan atau meredam getaran yang terjadi dengan modifikasi *Universal Joint Shaft* dan perubahan material *liner* menggunakan bahan peredam getaran seperti poliuretan Shore A (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1).



**Gambar 3. 1** Poliuretan *Shore A*



**Gambar 3. 2** *Spindle Support* (tempat pengambilan data vibrasi)

Pengambilan data menggunakan Vibrasi Meter (Gambar 3.3)



**Gambar 3. 3** Vibrasi meter yang digunakan

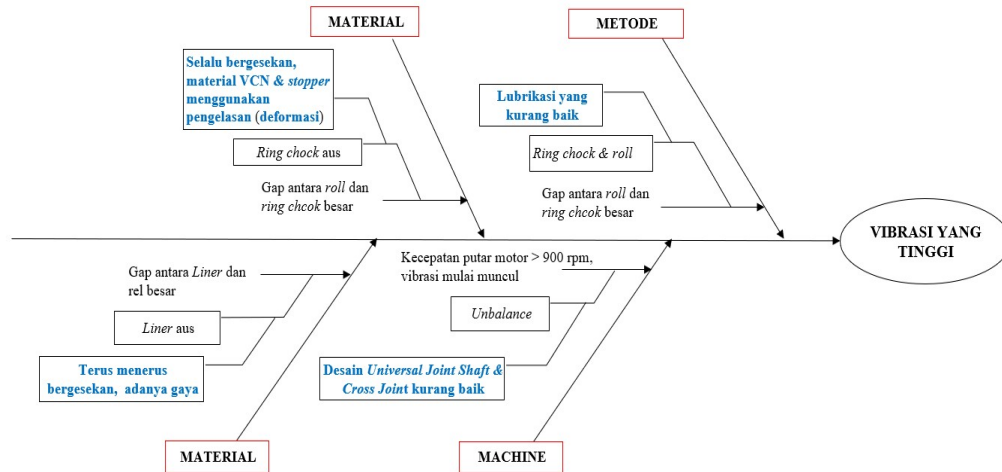
Semua nilai vibrasi dicatat dalam nilai RMS kecepatan dengan satuan mm/s.

### **3.3 Prosedur Penelitian**

Sebelum melakukan perbaikan dan penggantian bagian-bagian mesin, dicari dulu permasalahan-permasalahan yang timbul, serta faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi permasalahan tersebut. Pada penelitian ini akan dibuatkan diagram tulang ikannya (seperti yang ditunjukkan pada Diagram 3.1), dengan harapan dapat memprediksi akar dari vibrasi yang timbul.

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode *trial & error*. Pada metode ini, peneliti mencoba berbagai pendekatan dan metode dalam mengevaluasi masalah yang dihadapi. Dengan menggunakan metode ini, eksperimen demi eksperimen dilakukan pada beberapa hal untuk mencari tahu

dampak dari perlakuan yang diberikan, dan mengambil data untuk mengetahui hasil dari eksperimen atau percobaan yang dilakukan.



**Diagram 3. 1** Diagram Tulang Ikan

Sebelum melakukan penelitian, data sebelum penelitian atau perbaikan diambil sebagai referensi dan perbandingan dengan data hasil setelah penelitian atau perbaikan dengan 3 parameter dan 3 variasi parameter.

Parameter putaran motor didapatkan dari beberapa parameter seperti Gear Rasio (GR) pada *gearbox stand* 18 yaitu 1,206, yang artinya 1 (putaran *gearbox*) : 1,206 (putaran motor). Kecepatan rolling yang diinginkan yaitu pada range 16 – 21 m/s, dengan diameter roll 412 mm.

Untuk mencari putaran motor (N) didapatkan dari rumus sebagai berikut.

$$N = \frac{V \times GR \times 60 \times 1000}{\pi \times D}$$

|                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kecepatan (V) = 16m/s<br>Diameter roll (D) = 370 mm<br>Gear Rasio (GR) = 1,206<br>$\Pi = 3,14$<br><br>$N = \frac{16 \times 1,206 \times 60 \times 1000}{3,14 \times 370}$<br><b>N = 996,5 rpm</b> | Kecepatan (V) = 18m/s<br>Diameter roll (D) = 370 mm<br>Gear Rasio (GR) = 1,206<br>$\Pi = 3,14$<br><br>$N = \frac{18 \times 1,206 \times 60 \times 1000}{3,14 \times 370}$<br><b>N = 1.121,1 rpm</b> | Kecepatan (V) = 21m/s<br>Diameter roll (D) = 370 mm<br>Gear Rasio (GR) = 1,206<br>$\Pi = 3,14$<br><br>$N = \frac{21 \times 1,206 \times 60 \times 1000}{3,14 \times 370}$<br><b>N = 1.307,9 rpm</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Parameter putaran motor diambil 3 variasi, yaitu 1000 rpm, 1120 rpm & 1310 rpm.

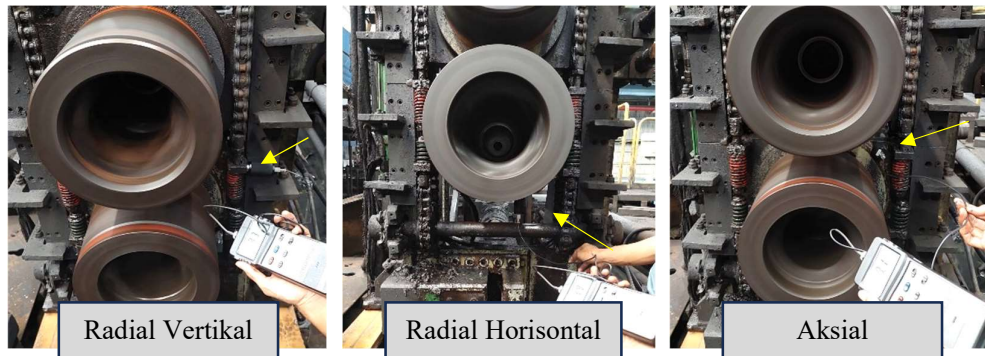
Perbaikan (*improvement*) dan pergantian yang dilakukan ada tiga variasi yaitu pada *universal joint shaft*, *liner spindle support*, *ring chock*. Dan titik pengambilan data vibrasi dilakukan pada 3 titik vibrasi yaitu radial horisontal (sumbu X), radial vertikal (sumbu Y), aksial (sumbu Z) dan pada *spindle* atas dan bawah (seperti yang ditunjukkan pada Table 3.1 dan Gambar 3.4 serta Gambar 3.5) Dari parameter di atas, pengambilan sebanyak 54 kali pengambilan data.

**Table 3. 1** Parameter pengambilan data

| Parameter              | Variasi                      |                              |                   |
|------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------|
|                        | <i>Universal Joint Shaft</i> | <i>Liner Spindle Support</i> | <i>Ring Chock</i> |
| Titik pengambilan data | Vertikal                     | Horisontal                   | Aksial            |
| Putaran Motor          | 1000 RPM                     | 1120 RPM                     | 1310 RPM          |
| Spindle                | Atas                         |                              | Bawah             |



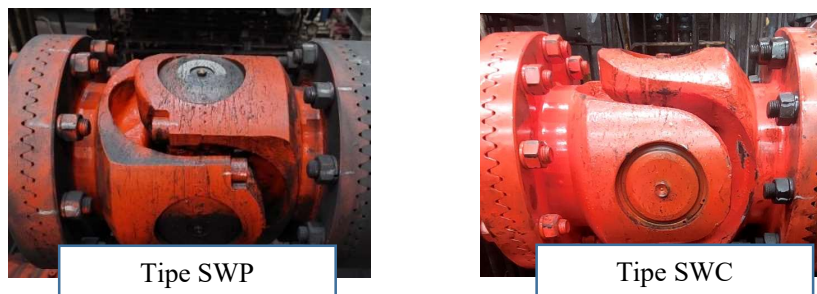
**Gambar 3. 4** Titik pengambilan data vibrasi *spindle* atas



**Gambar 3. 5** Titik pengambilan data vibrasi *spindle* bawah

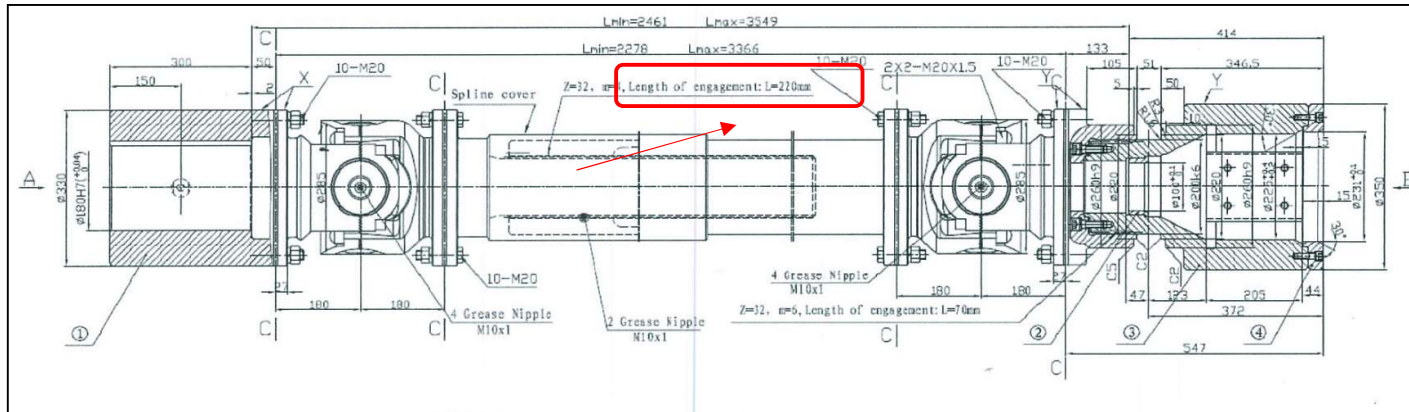
### 3.3.1 Tahap Pertama

Perbaikan tahap pertama yaitu dengan penggantian *Universal Joint Shaft*, dengan mengganti tipe cross joint dan merubah desain *spline*. Tipe *cross joint* diganti dari tipe SWP menjadi tipe SWC. (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6). Tipe *cross joint* diganti dengan harapan tidak ada kelonggaran join baut pada bearing cross joint, yang bisa menyebabkan ketidakseimbangan.

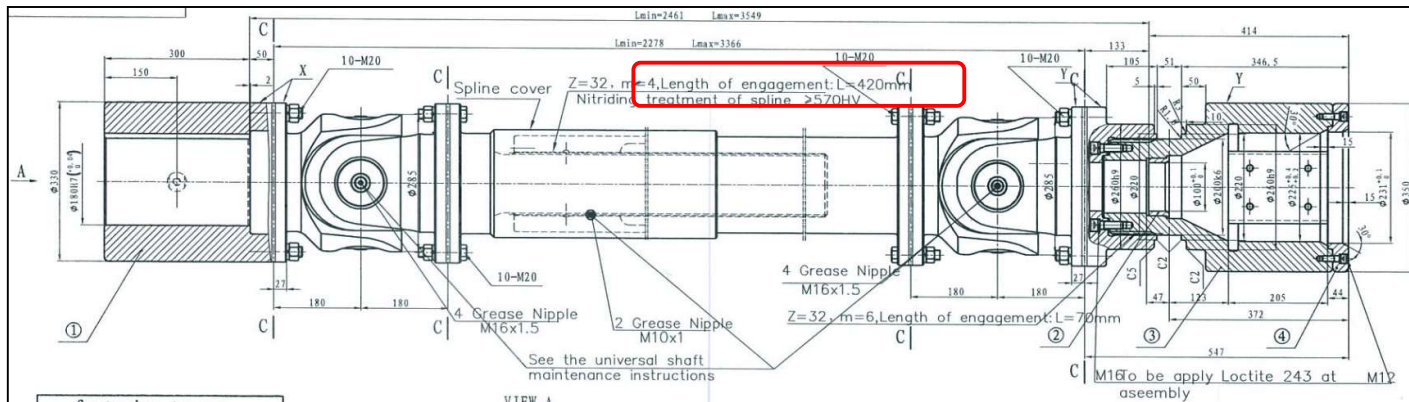


**Gambar 3. 6** *Cross Joint SWP & SWC*

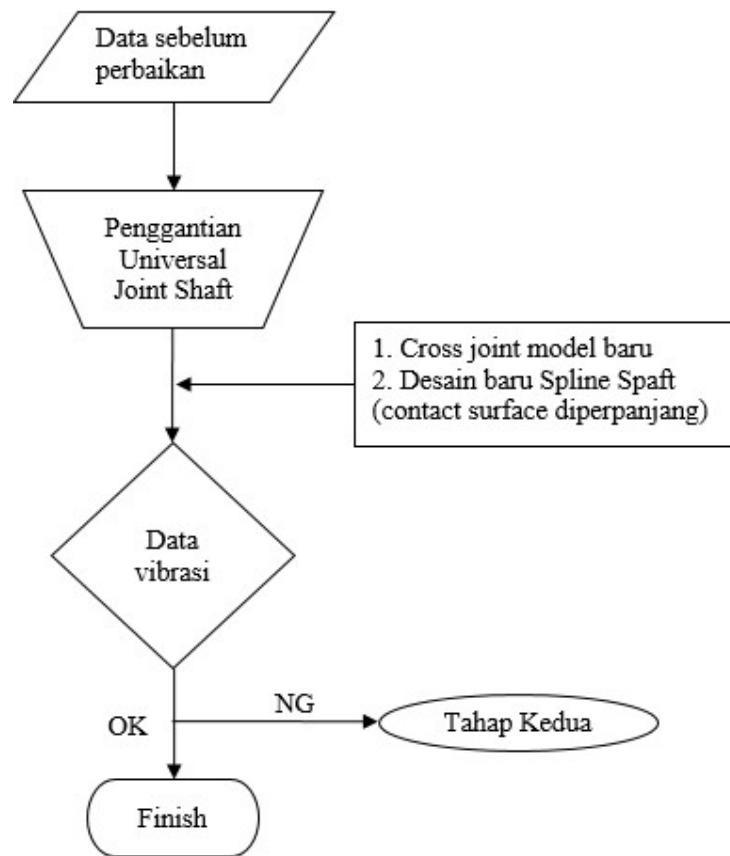
Perubahan desain pada *spline* terjadi pada *length of engagement* (LOE) atau panjang pertemuan *contact surface* dengan *target surface*. Pada desain sebelumnya, LOE sepanjang 220 mm, diubah menjadi 420 mm. Ada penambahan panjang pertemuan *contact surface* dengan *target surface* sebesar 200 mm (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7 dan Gambar 3.8). Hal ini diberikan agar *universal joint shaft* lebih stabil atau seimbang karena titik pertemuan gigi lebih panjang.



**Gambar 3. 7** Desain lama *Universal Joint Shaft Stand 18* [8]



**Gambar 3. 8** Desain baru *Universal Joint Shaft Stand 18* [8]



**Diagram 3. 2** Diagram Alir Tahap Pertama

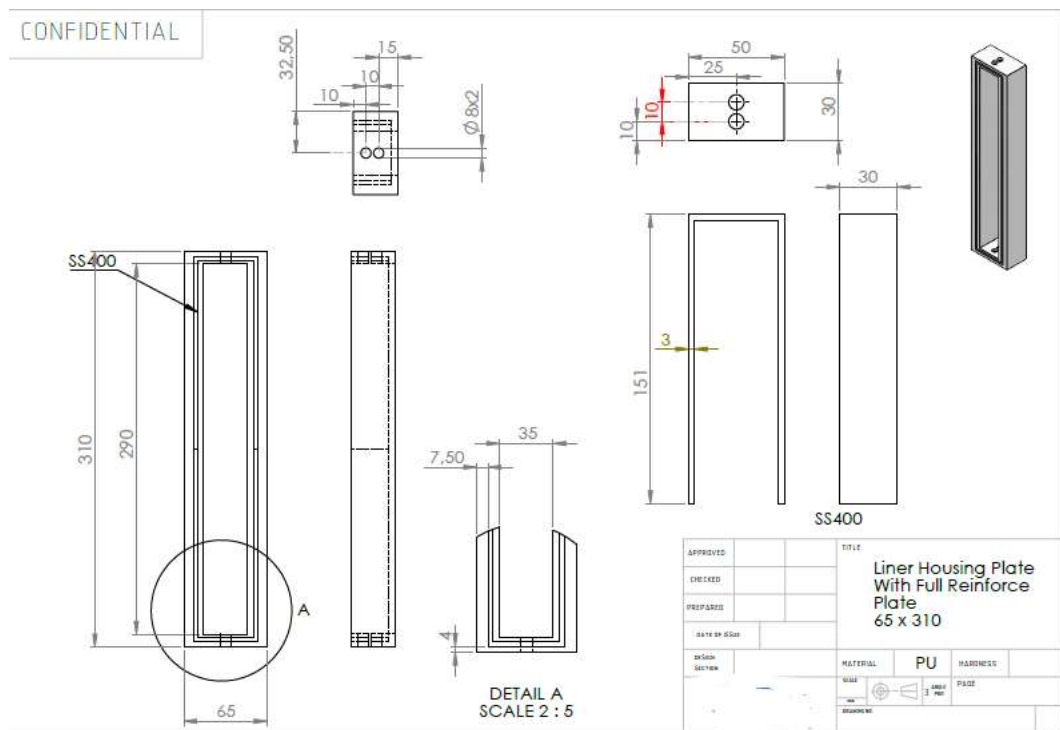
Setelah penggantian *Universal Joint Shaft* selesai dilakukan ambil data dengan parameter di bawah ini :

**Table 3. 2** Parameter pengambilan data tahap pertama

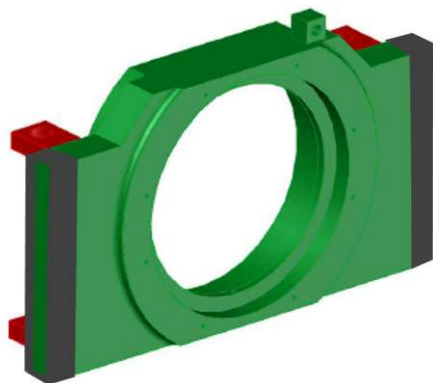
| Parameter              | Variasi  |            |          |
|------------------------|----------|------------|----------|
| Titik pengambilan data | Vertikal | Horisontal | Aksial   |
| Putaran Motor          | 1000 RPM | 1120 RPM   | 1310 RPM |
| Spindle                | Atas     |            | Bawah    |



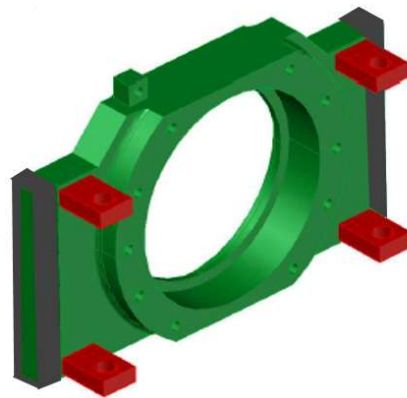
Pergantian *liner* material tembaga menjadi *liner* dengan material poliuretan Shore A 95 dengan tulangan plate SS400.



Housing bearing atas



Housing bearing bawah

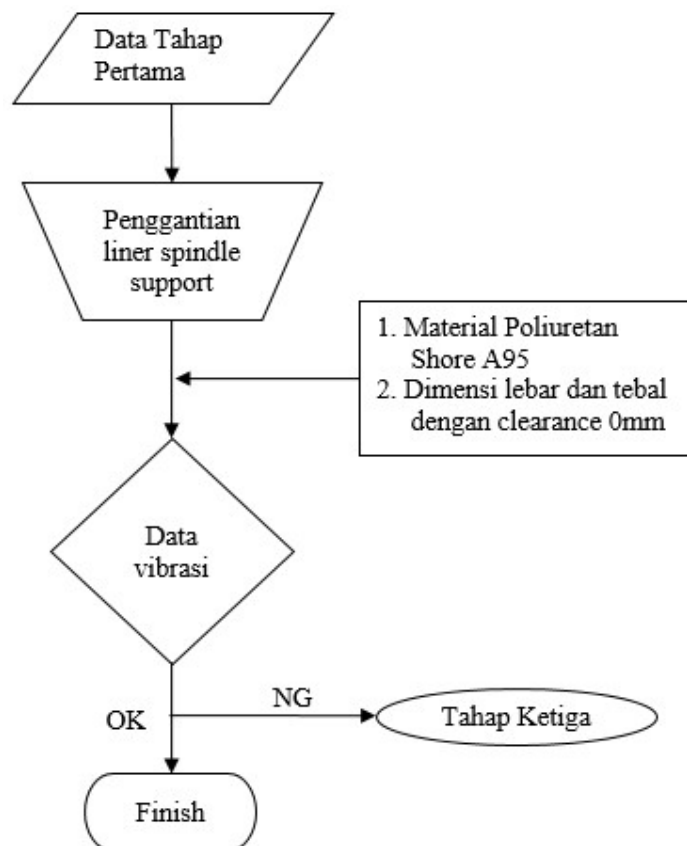


Gambar 3. 10 Desain baru *Liner Spindle Support*

Setelah penggantian *liner spindle support* selesai dilakukan ambil data dengan parameter di bawah ini :

**Table 3. 3** Parameter pengambilan data Tahap Kedua

| Parameter              | Variasi  |            |          |
|------------------------|----------|------------|----------|
| Titik pengambilan data | Vertikal | Horisontal | Aksial   |
| Putaran Motor          | 1000 RPM | 1120 RPM   | 1310 RPM |
| Spindle                | Atas     |            | Bawah    |

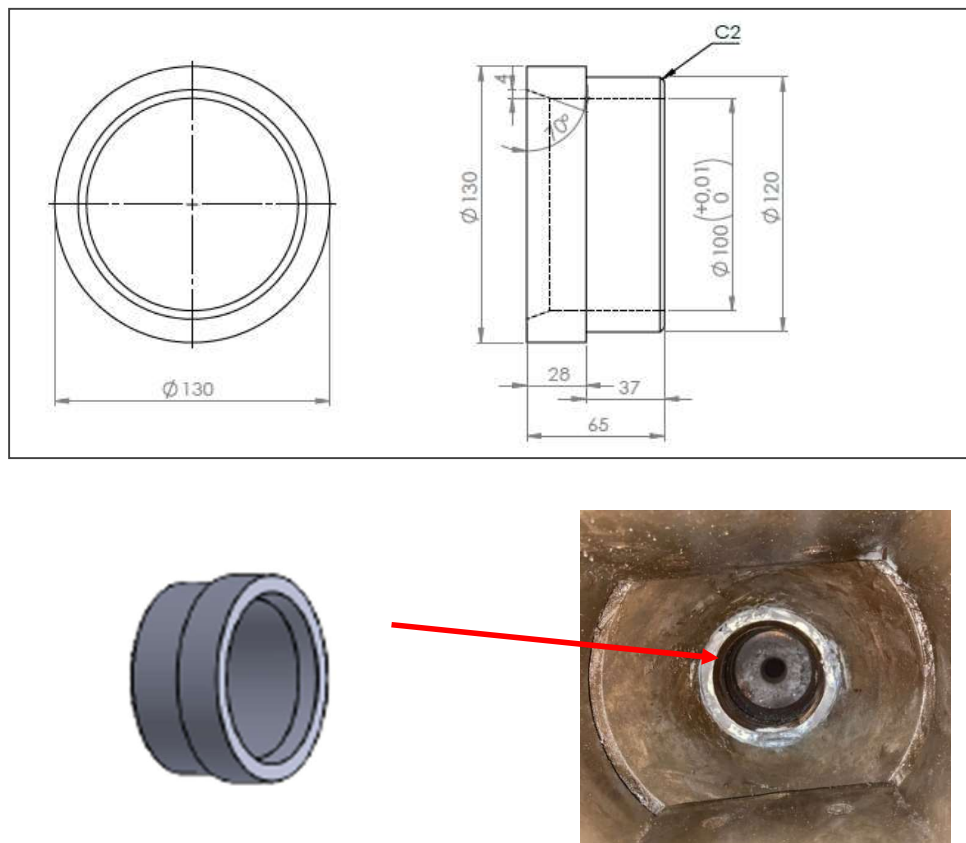


**Diagram 3. 3** Diagram Alir Tahap Kedua

Nilai vibrasi yang didapatkan yaitu nilai RMS kecepatan vibrasi dalam satuan mm/s. Bila nilai RMS kecepatan vibrasi horisontal, vertikal, dan aksial semua parameter di bawah 20 mm/s, maka penelitian selesai. Bila ada masih ada parameter dengan nilai vibrasi  $> 20$  mm/s maka dilanjutkan ke Tahap Ketiga, seperti ditunjukkan dengan Diagram 3.3.

### 3.3.3 Tahap Ketiga

Perbaikan tahap ketiga ini dilakukan pergantian *Ring Chock Spindle*. *Ring chock spindle* sebelumnya menggunakan material VCN 150 (kelas baja), agar tidak ada pergerakan aksial pada ring chock maka *ring chock* dilas dari dalam.



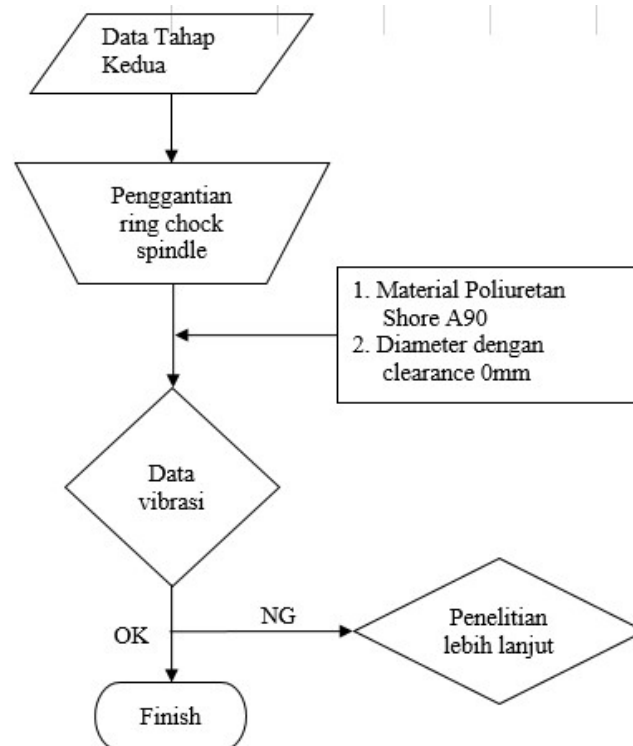
**Gambar 3. 11** Desain lama *Ring Chock Spindle*

Pergantian *ring chock* material VCN 150 menjadi *ring chock* dengan material poliuretan *Shore A 90*, dimensi tidak berubah, hanya materialnya saja berubah. Dengan desain yang ditunjukkan oleh Gambar 3.11.

Setelah penggantian *ring chock spindle* selesai dilakukan ambil data dengan parameter di bawah ini :

**Table 3. 4** Parameter pengambilan data Tahap Ketiga

| Parameter              | Variasi  |            |          |
|------------------------|----------|------------|----------|
| Titik pengambilan data | Vertikal | Horisontal | Aksial   |
| Putaran Motor          | 1000 RPM | 1120 RPM   | 1310 RPM |
| Spindle                | Atas     |            | Bawah    |



**Diagram 3. 4** Diagram Alir Tahap Ketiga

Nilai vibrasi yang didapatkan yaitu nilai RMS kecepatan vibrasi dalam satuan mm/s. Bila nilai RMS kecepatan vibrasi horisontal, vertikal, dan aksial semua parameter di bawah 20 mm/s, maka penelitian selesai. Bila ada masih ada parameter dengan nilai vibrasi  $> 20$  mm/s maka dilanjutkan ke penelitian selanjutnya, seperti ditunjukan dengan Diagram 3.3.

## BAB V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu :

1. Vibrasi yang tinggi pada suatu mesin yang berputar berpotensi merusak *part* mesin. Pada kasus ini adalah kerusakan pada *Spindle Support*. Kerusakan yang teridentifikasi yaitu kelonggaran mekanis, yang menyebabkan baut-baut patah atau lepas, *liner housing bearing* aus, *spring* patah, *chain* patah, dan *base concrete spindle support* retak.
2. Beberapa perbaikan dilakukan untuk menurunkan atau meredam vibrasi yang terjadi.
  - a. Perbaikan Tahap Pertama dengan mengendalikan kondisi tidak seimbang (*unbalance*) pada sisi *Universal Joint Shaft*. Pergantian *Universal Joint Shaft* dengan perubahan desain dan tipe *cross joint* diganti dari tipe SWP menjadi tipe SWC. Nilai RMS kecepatan vibrasi berkurang rata-rata hanya 5% bila dibandingkan dari data sebelum dilakukan perbaikan. Nilai vibrasi tertinggi adalah 57,8 mm/s pada arah aksial *spindle* bawah dengan kecepatan putar 1310 RPM. Keausan pada *female spline* sebesar 0,09 mm, melebihi toleransi maksimal sebesar 0,04 mm. Keausan terjadi pada *male spline* sebesar 0,46 mm, melebihi

toleransi maksimal sebesar 0,083 mm. Pada *male spline* juga terlihat ada cacat baret.

- b. Perbaikan Tahap Kedua, dilakukan dengan mengendalikan kelonggaran mekanis yang terjadi pada sisi *liner* dan *rail spindle support*. Material *Liner* diganti menggunakan material Poliuretan. Nilai RMS kecepatan vibrasi arah radial vertikal dan horisontal rata-rata berkurang hanya 18%, dan arah aksial berkurang sebesar 59% bila dibandingkan dari data perbaikan Tahap Pertama setelah produksi 3.690 ton. Nilai vibrasi tertinggi adalah 45,2 mm/s pada arah radial horisontal *spindle* bawah dengan kecepatan putar 1310 RPM. Pada tahap kedua ini terlihat keausan pada sisi roll yang masuk ke dalam *chock*, serta keausan pada *ring chock*. Keausan *ring chock* sampai 4 mm.
  
- c. Perbaikan Tahap Ketiga, dilakukan dengan mengendalikan kelonggaran mekanis yang terjadi pada sisi *chock spindle*. Perbaikan tahap ketiga ini dilakukan penambahan jalur lubrikasi untuk sisi dalam *chock spindle* dan pergantian *Ring chock spindle* menggunakan material poliuretan shore A 90 yang sebelumnya menggunakan material VCN 150 (kelas baja). Nilai RMS kecepatan vibrasi arah radial vertikal dan horisontal berkurang rata-rata 38%, arah aksial ada kenaikan hanya 2% bila dibandingkan dari data perbaikan Tahap Kedua setelah produksi 4.598 ton. Nilai vibrasi tertinggi adalah 26,3 mm/s pada arah radial vertikal *spindle* bawah dengan kecepatan putar 1310

RPM. Nilai ini masih diatas nilai RMS kecepatan vibrasi yang diinginkan yaitu 20 mm/s.

3. Setelah dilakukan perbaikan bisa menurunkan nilai RMS kecepatan vibrasi < 20mm/s, tetapi hanya sementara waktu. Nilai RMS kecepatan vibrasi pada putaran mesin 1310 rpm pada arah radial vertikal yaitu 26,3 mm/s, arah radial horizontal yaitu 25,8 mm/s dan arah aksial yaitu 20,6 mm/s.

## 5.2 Saran

Saran dari penulis adalah perawatan rutin tetap dilakukan, selain itu harus dilakukan pergantian *Universal Joint Shaft* dengan desain baru karena *Universal Joint Shaft* yang terpasang di *stand* 18 (*stand* percobaan) saat ini sudah terjadi keausan. Perbaikan Tahap Kedua (pergantian *liner*) dan Tahap Ketiga (pergantian *ring chock* dan pelumasan *inner chock*) dapat diaplikasikan ke semua *stand* terutama *stand intermediate & finishing mill*. Perbaikan Tahap Pertama (pergantian *Universal Joint Shaft*) juga harus aplikasikan tetapi secara bertahap dikarenakan harga *Universal Joint Shaft* yang cukup mahal.

Karena nilai RMS kecepatan vibrasi yang didapatkan masih di atas dari nilai yang diinginkan yaitu 20 mm/s, maka harus dilakukan penelitian selanjutnya untuk mendapatkan nilai vibrasi yang diinginkan, dan kehandalan mesin yang lebih baik serta kecepatan produksi meningkat. Penelitian yang disarankan yaitu simulasi menggunakan ANSYS atau aplikasi mekanikal lainnya untuk mengetahui sumber vibrasi yang terjadi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Lee. 2004. Rod and bar rolling. *CRC Press*
- [2] M. Bambach. 2016. Modeling Steel Rolling Processes By Fluid-Like Deferential Equations. *Published by Elsevier*
- [3] M.S. Baskara & Purnomo. 2015. Kajian Efisiensi Thermal Pada Mesin Reheating Furnace Tipe Walking Beam Dengan Bahan Bakar Gas Alam. *Universitas Gadjah Mada*
- [4] A.B. Gunawan. 2013. Pengertian Vibrasi. *Scribd*.
- [5] H.D Nur Cahyo Wardjito. 2016. Optimalisasi Analisa Vibrasi Untuk Mendeteksi Gejala Misalignment Pada Mesin Berputar. *Jurnal Keilmuan dan Terapan Teknik*.
- [6] M. Saif, 2022, Rolling Mills : Parts, Working, and Types of Rolling Mills, *The Engineering Post*.
- [7] Irawati. 2020. *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*. Deepublish, Sleman.
- [8] Drawing Project Combined Mill For Bar And Small Section PT. Krakatau Osaka Steel. 2015. *JP Steel Plantech Co*.
- [9] <https://teknikece.com/bearing/jenis-bearing/>. diakses pada Selasa, 01 Agustus 2023
- [10] S. B. Patil, S. Patil.2019. Engineering International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration. *ACCENTS Journals*.
- [11] R. J. Drago and Laurence E. Scott, 2000. *Powerful Gears In Rolling Mills*, [www.machinedesign.com](http://www.machinedesign.com). diakses pada 8 April 2023
- [12] <https://indowpt.produkanda.com/sell/index.php?itemid=67671>. diakses pada tanggal 06 September 2023
- [13] Sularso & Kiyookatsu Suga. 2000. *Dasar Perencanaan Dan Pemeliharaan Elemen Mesin*, Pradnya Paramita.
- [14] S. Hajdu. 2016. Kinematics Of Simulation Of The Cardan Shaft For Investigation Of The Cardan Error In Catia V5. *Slovak University of Technology In Bratislava*.
- [15] S.G. Kelly. 2011. Mechanical Vibration Theory & Applications. *Published by Cengage Learning*.
- [16] <https://testindo.co.id/apa-itu-getaran/>. diakses pada Rabu, 06 September 2023
- [17] Kurniawan Andi. 2021. *Pengaruh Looseness Terhadap Vibrasi Peralatan Yang Mengalami Unbalance Dan Misalignment*. Kilat. Jakarta.
- [18] Qadri, Nuzul. 2021. Makalah Polimer. *Scribd*.
- [19] <https://gteek.com/polyurethane-rods-90o-shore-a>. diakses pada tanggal 13 Februari 2023
- [20] <https://www.inspeksi.co.id/pengukuran-durometer/>. diakses pada tanggal 13 Februari 2023
- [21] H. Yudisaputro. 2014. Teori Dasar Vibrasi. *Berbagi Energi*.

- [22] H. Yudisaputro. 2014. Parameter Utama Pengukuran Vibrasi, *Berbagi Energi*.
- [23] C. Layosa. 2016. Shaft and Hole Tolerances and Fits. *Misumi Mech Lab Blog Mechanical Design*.