

# **TUGAS AKHIR**

## **PERILAKU GETARAN PADA PIRINGAN GANDA AKIBAT TRANSISI PERUBAHAN PUTARAN**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**KHAIRUDDIN SIGALINGGING**

**1307230109**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2019**

## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Khairuddin Sigalingging  
Npm : 1307230109  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Perilaku getaran pada piringan ganda akibat transisi perubahan putaran  
Bidang ilmu : Konstruksi Dan Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 13 September 2019

Mengetahui Dan Menyetujui:

Dosen Penguji I

H.Muharnif.S.T.M.Sc

Dosen Penguji II

Bekti Suroso.S.T.M.Eng

Dosen Penguji III

Rahmatullah , S.T., M.Sc

Dosen Penguji IV

Khairul Umurani,S.T.,M.T

Program Studi Teknik Mesin

Ketua



Affandi, S.T., M.T

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Khairuddin Sigalingging  
Tempat /Tanggal Lahir : Sibolga/04 April 1993  
NPM : 1307230109  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

**“Perilaku getaran pada piringan ganda akibat transisi perubahan putaran”,**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 13 September 2019

Saya Yang Menyatakan,



Khairuddin Sigalingging

## **ABSTRAK**

Sebuah mesin yang ideal sempurna pada prinsipnya tidak menimbulkan getaran sama sekali. Karena seluruh energi yang dihasilkan diubah menjadi kerja. Getaran adalah suatu hal yang tidak diharapkan muncul dalam sebuah sistem kerja pada suatu instalasi mesin. Mesin-mesin rotasi banyak digunakan di industri, baik sebagai penghasil ataupun pentransmisi daya selama beroperasi, mesin-mesin ini menghasilkan gaya maupun momen sehingga menghasilkan getaran dalam segala arah. Getaran yang terjadi pada mesin dapat berupa getaran translasi maupun rotasi. Adapun penelitian ini untuk menganalisa perilaku getaran pada piringan ganda akibat transisi perubahan putaran, dan penelitian ini dilakukan menggunakan mesin balancing, serta menggunakan software arduino dengan sensor getaran dan sensor Proximity sehingga dapat menganalisa perilaku getaran pada piringan ganda dengan transisi perubahan putaran 1000 rpm, 2000 rpm, dan 3000 rpm. Dari hasil diatas maka dapat disimpulkan tingginya putan dan transisi putaran yang dihasilkan putaran motor mesin balancing dapat mengakibatkan besarnya getaran yang dihasilkan oleh piringan ganda.

***Kata Kunci : Getaran, Piringan Ganda, Transisi Perubahan Putaran***

## ABSTRACT

Perfectly ideal machine in principle does not cause vibrations at all. because all the energy produced is converted into work. Vibration is something that is not expected to appear in a work system on a machine installation. Rotational machines are widely used in industry, both as producers and transmitters of power during operation, these machines produce forces and moments so that they produce vibrations in all directions. vibrations that occur on the machine can be either translational or rotational vibrations. The research is to analyze the vibrational behavior of multiple plates due to the rotation change transition, and this research is carried out using a balancing machine, and using Arduino software with vibration sensor and Proximity sensor so that it can analyze vibration behavior on multiple plates with a rotation transition of 1000 rpm, 2000 rpm and 3000 rpm. From the above results, it can be concluded that the height of rotation and the resulting rotation of the rotation of the balancing machine motor rotation can cause the amount of vibration produced by multiple plates.

**Keywords:** *Vibration, Double Disc, Rotation Change Transition*

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Sarjana ini dengan lancar. Tugas Sarjana ini merupakan tugas akhir bagi mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dalam menyelesaikan studinya.

Dalam menyelesaikan tugas ini penulis banyak mengalami hambatan dan rintangan yang disebabkan minimnya pengetahuan dan pengalaman penulis, namun berkat petunjuk Allah SWT yang terus – menerus hadir dan atas kerja keras penulis, serta banyaknya bimbingan dari pada dosen pembimbing akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas sarjana ini.

Untuk itu penulis pada kesempatan ini menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua, Ayahanda Bapak Sharul Sigalingging dan Ibunda Wardiani Tanjung, dimana cinta yang telah membesarkan, mengasuh, mendidik, serta memberikan semangat dan do'a yang tulus, ikhlas, dengan penuh kasih sayang sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Rahmatullah, S.T.,M.Sc, selaku Dosen Pembimbing I.
3. Bapak Khairul Umurani, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing II.
4. Bapak H.Muharnif.S.T.M.Sc, selaku Dosen Pembimbing I.
5. Bapak Bakti Suroso.S.T.M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II.
6. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T.,M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Bapak Dr Ade Faisal, S.T, M.Sc, selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Bapak Affandi, S.T, selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Bapak Chandra A Siregar,S.T.,M.T selaku Sekretaris Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Seluruh Dosen di Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan bimbingan dan ilmu pengetahuan selama di bangku kuliah.
11. Terimah kasih saudara Muhammad Rizal Lubis S.T selaku mentor dalam skripsi, Tri Widodo sebagai seperjuangan skripsi, Muhammad Salman Harahap sebagai seperjuangan skripsi, Fauzi Rahmad sebagai seperjuangan skripsi dan kawan kawan seperjuangan yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa tugas ini masih jauh dari sempurna dan tidak luput dari kekurangan, karena itu dengan senang hati dan penuh lapang dada penulis menerima segala bentuk kritik dan saran dari pembaca yang sifatnya membangun demi kesempurnaan penulisan tugas sarjana ini.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tugas sarjana ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan semoga Allah SWT selalu merendahkan hati atas segala pengetahuan yang kita miliki. Amin Ya Rabbal Alamin.  
Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, 13 September 2019

Penulis

Khairuddin Sigalingging  
1307230109

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTCT</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>ix</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b>	
1.1.Latar Belakang	1
1.2.Rumusan Masalah	2
1.3.Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan	2
1.4.1 Tujuan Umum	2
1.4.2 Tujuan Khusus	2
1.5. Manfaat Penelitian	2
1.6. Sistematika Penulisan	3
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Teori Getaran	5
2.1.1 Karakteristik Getaran	7
2.2. Metode Balancing	9
2.2.1. <i>Two-Plane</i> Balancing	10
2.3. Alat Keseimbangan Dinamik	12
2.4. <i>Microcontroler</i>	14
2.5. Sensor Kecepatan	15
2.6. Sensor Getaran <i>Vibration</i>	16
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Tempat dan Waktu	17
3.1.1 Tempat	17
3.1.2 Waktu Penelitian	17
3.2. Alat Dan Bahan	18
3.2.1. Alat	18
3.2.2. Bahan	23
3.3. Diagram Alir	25
3.4. Prosedur Pengujian	26
<b>BAB 4.HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1. Data Hasil Pengujian	27
4.1.1. Perbandingan getaran dan waktu perubahan transisi putaran 20	27
4.1.2. Perbandingan getaran dan waktu perubahan transisi putaran 30	28
4.1.3. Perbandingan getaran dan waktu perubahan transisi putaran 40	29
<b>BAB 5.KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan	30
5.2 Saran	30
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Mekanisme pegas dengan beban pada ujungnya	5
Gambar 2.2.	Karakteristik getaran	7
Gambar 2.3.	Eksentrisitas	10
Gambar 2.4.	Metode perhitungan sudut fasa dari sinyal getaran dan ttrigger	11
Gambar 2.5.	Skematik two-plane balancing	12
Gambar 2.6.	Jenis gravity balancing machines	13
Gambar 2.7.	Centrifugal balancing machines	14
Gambar 2.8.	Arduino UNO	15
Gambar 2.9.	Import groove coupler	16
Gambar 2.10.	Sensor getaran/Vibration	16
Gambar 3.1.	Alat keseimbangan dinamik	18
Gambar 3.2.	Motor listrik AC	18
Gambar 3.3.	Panel listrik	19
Gambar 3.4.	Inverter	19
Gambar 3.5.	Arduino UNO	20
Gambar 3.6.	Sensor Getaran	20
Gambar 3.7.	Sensor kecepatan	21
Gambar 3.8.	Laptop	21
Gambar 3.9.	Mesin bubut	21
Gambar 3.10.	Sigmat	22
Gambar 3.11.	Waterpass	22
Gambar 3.12.	Meter	23
Gambar 3.13.	Piringan ganda	23
Gambar 3.14.	Poros	23
Gambar 3.15.	Baut	24
Gambar 4.1.	Perbandingan getaran dengan waktu	27
Gambar 4.2.	Perbandingan putaran dengan waktu	28
Gambar 4.3.	Perbandingan getaran dengan waktu	29

## DAPTAR TABEL

Tabel 3.1	Jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian	21
-----------	---	----

#### DAFTAR NOTASI

No.	Simbol	Besaran	Satuan
1	$f_n$	frekuensi pribadi	Hz
2	$K$	kekakuan benda	N/m
3	$M$	massa benda	Kg
4	$n$	Kecepatan putaran	Rpm
5	$G$	Gram	-
6	$R$	Jari-jari	-
7	$\theta$	Sudut	-
8	$E$	Penambahan masa	-
9	$\Omega$	Kecepatan sudut	-

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### 1.1 Latar Belakang

Sebuah Mesin yang ideal sempurna pada prinsipnya tidak menimbulkan getaran sama sekali, karena seluruh energi yang dihasilkan diubah menjadi kerja. Namun di dunia ini tidak ada yang sempurna, sehingga sebagian energi salah satunya terbuang menjadi getaran.

Getaran adalah suatu hal yang tidak diharapkan muncul dalam sebuah sistem kerja pada suatu instalasi mesin. Getaran yang berlebih tentunya akan berpengaruh terhadap performa maupun umur kekuatan dari suatu komponen yang ada. Pengukuran getaran merupakan kegiatan yang paling umum dilakukan dalam perawatan prediktif. Untuk itu pembuatan dan pengukuran getaran alat peraga pada alignment poros motor listrik pompa ini dilakukan untuk mengambil data tentang perilaku getaran yang mengambil beberapa variabel pengukuran.

Mesin-mesin rotasi banyak digunakan di industri, baik sebagai penghasil ataupun penransmisi daya selama beroperasi, mesin-mesin ini menghasilkan gaya maupun momen sehingga menghasilkan getaran dalam segala arah. Getaran yang terjadi pada mesin dapat berupa getaran translasi maupun rotasi. Getaran transiasi dapat terjadi dalam arah lateral ataupun aksial. Getaran lateral terjadi pada arah tegak lurus sumbu poros, sedangkan getaran aksial terjadi dalam arah sumbu poros. Selain getaran translasi, getaran juga dapat terjadi dalam arah putar (rotasi). Getaran yang terjadi dalam arah putar sering disebut sebagai perilaku getaran transisi perubahan putaran.

Pada penelitian tugas akhir ini, pengujian akan melakukan uji perilaku getaran pada piringan ganda akibat transisi perubahan putaran, dimana bertujuan untuk mengetahui getaran pada piringan ganda.

## 1.2 Rumusan Masalah

Sehubungan dengan judul tugas akhir ini maka perumusan yang diperoleh bagaimana perilaku getaran pada piringan ganda akibat transisi perubahan putaran.

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk mempermudah penelitian maka dilakukan pembuatan – pembuatan masalah dan asumsi – asumsi. Adapun pembatasan masalah dan asumsi tersebut adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui perilaku getaran pada piringan ganda
2. Pengujian menggunakan piringan ganda

## 1.4 Tujuan

### 1.4.1 Tujuan Umum

Secara umum tujuan dari penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisa perilaku getaran pada piringan ganda akibat transisi perubahan putaran

### 1.4.2 Tujuan Khusus

Adapun tujuan khusus dari pengujian karakteristik getaran pada piringan ganda adalah :

1. Untuk menganalisis perilaku getaran pada transisi 1000 rpm, 2000 rpm, dan 3000 rpm.
2. Untuk mengevaluasi hasil dari perilaku getaran dengan transisi perubahan putaran.

## 1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari analisa pengujian ini adalah :

1. Hasil dari penelitian ini diharapkan akan bermanfaat untuk pemilihan piringan ganda yang efisien dalam industri.
2. Memberikan informasi dan model pada penelitian tentang piringan ganda.

## 1.6 . Sistematika Penulisan

Agar penulisan tugas akhir ini dapat dilaksanakan dengan mudah dan sistematis, maka pada penulisan tugas akhir ini disusun tahapan-tahapan sebagai berikut :

### BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan. Dalam bab ini diuraikan secara jelas latar belakang penulisan melakukan penelitian, serta maksud dan tujuan penelitian tersebut untuk dijadikan landasan dalam penulisan tugas akhir ini.

### BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini meliputi pengambilan teori-teori serta rumus-rumus dari beberapa sumber bacaan yang mendukung analisa permasalahan yang berkaitan dengan tugas akhir ini. Bab ini juga berisi teori-teori yang didapat dari sumber lainnya seperti internet yang berkaitan dengan permasalahan yang akan diteliti.

### BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini akan membahas tentang langkah-langkah kerja yang akan dilakukan dan cara memperoleh data yang relevan dengan penelitian ini. Dalam bab ini juga diterangkan secara jelas pengambilan data, pengolahan data, dan analisa data. Data yang dibutuhkan sebagai berikut:

1. Data primer, yaitu data-data yang berhubungan langsung dari penelitian yang dilakukan.
2. Data sekunder, yaitu data-data yang bersumber dari instansi yang terkait, danteori-teori yang di peroleh dari buku-buku literature, internet dan sumber lainnya.

## BAB 4 ANALISA DATA

Bab ini merupakan sajian data penerapan teknis analisa yang sesuai dengan objek studi. Kemudian data-data tersebut dibahas dan dianalisa guna mencapai tujuan dan sarana studi yang dimaksud.

## BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan logis berdasarkan analisa data dan bukti yang disajikan sebelumnya, yang menjadi dasar untuk menyusun suatu saran sebagai suatu usulan

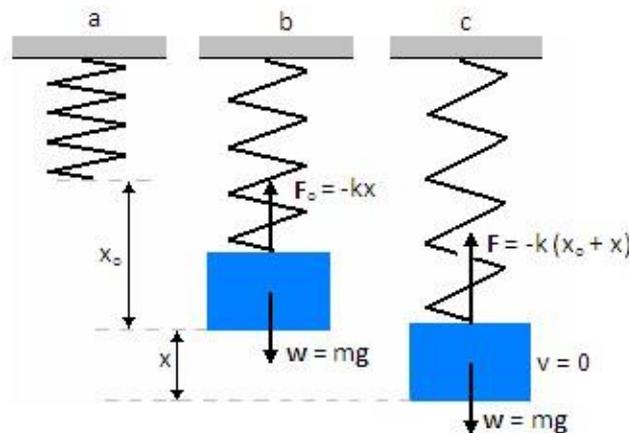
## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Teori Getaran

Umumnya getaran dapat didefinisikan sebagai gerakan bolak-balik suatu benda dari posisi awal melalui titik kesetimbangannya. Ilustrasi paling sederhana menjelaskan getaran adalah mekanisme pegas yang diberi massa pada ujungnya seperti pada Gambar 2.1 Setiap komponen mekanikal memiliki berat dan properties yang menyerupai pegas. Ada dua kelompok getaran yang umum yaitu getaran bebas dan getaran paksa. Getaran bebas terjadi jika sistem beresilasi karena bekerjanya gaya yang ada dalam sistem itu sendiri atau tidak ada gaya luar yang bekerja. Sistem yang bergetar bebas akan bergetar pada satu atau lebih frekuensi naturalnya.

Getaran yang terjadi karena rangsangan gaya luar disebut getaran paksa. Jika rangsangan tersebut beresilasi maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi eksitasinya. Jika frekuensi eksitasi sama dengan frekuensi natural maka sistem terjadi resonansi yang sangat membahayakan.



Gambar 2.1 Mekanisme pegas dengan beban pada ujungnya

Semua sistem yang bergetar mengalami redaman sampai derajat tertentu karena energi didisipasi oleh gesekan dan tahanan lain. Jika redaman kecil maka pengaruhnya sangat kecil pada frekuensi natural, dan perhitungan frekuensi natural biasanya dilakukan atas dasar tidak ada redaman.

Suatu poros dapat mengalami *unbalance*, yang disebabkan oleh sifat bahan poros yang tidak homogen (lubang/*void* yang terjadi pada saat pembuatan poros), eksentrisitas poros, penambahan alur dan pasak pada poros, serta distorsi yang dapat berupa retakan (*crack*), bekas pengelasan, atau perubahan pada bentuk poros. *Unbalance* ini menyebabkan distribusi massa yang tidak seragam di sepanjang poros atau lebih dikenal sebagai massa *unbalance*. Prosedur perawatan untuk mengurangi *unbalance* pada mesin disebut *balancing*. *Balancing* terdiri dari prosedur pengukuran getaran dan menambahkan atau mengurangi beban untuk mengatur distribusi massa. Tujuan *balancing* adalah menyeimbangkan mesin putar, yang pada akhirnya akan mengurangi getaran.

Saat ini *balancing* merupakan aspek yang sangat penting dari desain dan operasi semua mesin yang menggunakan poros putar. Pada umumnya *balancing* dilakukan setelah tahap akhir proses *assembling* sistem, tetapi pada beberapa sistem seperti *fan* untuk pabrik, rangkain roda gigi dan penggerak, *balancing* dilakukan segera setelah dilakukan perbaikan, dan perawatan. Sistem poros putar jarang sekali yang bisa diseimbangkan secara sempurna tetapi hanya pada derajat *balance* tertentu yang diperlukan agar mesin dapat bekerja dengan baik. Metode *balancing* yang sering dilakukan didalam laboratorium adalah *single-plane balancing* dan *two-plane balancing*. Kedua metode ini menggunakan beban uji dan pengukuran beda fasa.

*Balancing* yang dilakukan dekat dengan putaran kritis kebanyakan dihindari. Langkah *balancing* yang dilakukan jauh dari putaran kritis akan menghasilkan respon getaran yang kecil sehingga sulit diukur, tetapi *balancing* yang dilakukan dekat dengan putaran kritis akan menghasilkan respon getaran yang besar sehingga lebih mudah diukur, namun bila ada perubahan putaran sedikit saja dapat mempengaruhi pembacaan amplitudo dan fasa.

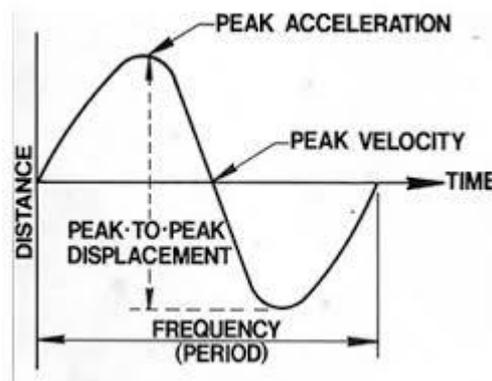
Massa *unbalance* terletak pada jarak radial tertentu terhadap sumbu poros yang berputar dengan frekuensi putar yang sesuai dengan putaran kerja poros. Gaya sentrifugal yang dihasilkan berupa vektor gaya dengan amplitudo sebesar  $m_u e \omega^2$  (massa *unbalance* x jarak massa *unbalance* ke sumbu poros x kuadrat putaran poros). Jika sepanjang poros tersebut terdapat beberapa massa *unbalance* maka gaya sentrifugal yang ditimbulkannya akan menyebabkan *momen*

*unbalance*. Agar piringan berputar tersebut dapat mendekati keseimbangan (*balance*) diusahakan untuk membuat sekecil mungkin eksentrisitas yang ada dengan cara menambah atau mengurangi massa benda yang berputar tersebut. Pada umumnya penambahan massa lebih mudah dilakukan, dan tidak merusak bentuk benda.

Supaya sistem berputar dapat diseimbangkan, terlebih dahulu harus dapat diketahui posisi vektor gaya yang tidak seimbang. Besarnya massa yang ditambahkan atau dikurangi dapat diperoleh dari pengukuran dan perhitungan. Untuk dapat mengetahui vektor gaya yang tidak seimbang, digunakan instrumen pengukuran yang konfigurasi tergantung pada metode yang dipakai untuk mengetahui *unbalance* suatu sistem rotari.

### 2.1.1 Karakteristik Getaran

Kondisi mesin dan kerusakan mekanis dapat diketahui dengan mempelajari karakteristik getaranya. Pada suatu sistem pegas-massa, karakteristik getaran dapat dipelajari dengan membuat grafik pergerakan beban terhadap waktu.



Gambar 2.2. karakteristik getaran

Gerak beban dari posisi netralnya ke batas atas kemudian kembali ke posisi netral (keseimbangan) dan bergerak lagi ke batas bawah kemudian kembali keposisi kesetimbangan, menunjukkan gerakan satusiklus. Waktu untuk melakukan gerak satu siklus inidisebut *periode*, sedangkan jumlah siklus yang dihasilkan dalam satu interval waktu tertentu disebut *frekuensi*. Dalam analisis getaran mesin, frekuensi lebih bermanfaat karena berhubungan dengan rpm (putaran) suatu mesin.

a. Frekuensi Getaran

Frekuensi adalah jumlah siklus pada tiap satuan waktu. Besarnya dapat dinyatakan dengan siklus perdetik (*cycles per second/cps*) atau siklus per menit (*cycles per minute/cpm*). Frekuensi getaran penting diketahui dalam analisis getaran mesin untuk menunjukkan masalah yang terjadi pada mesin tersebut. Dengan mengetahui frekuensi getaran, akan memungkinkan untuk dapat mengidentifikasi bagian mesin yang salah (*fault*) dan masalah yang terjadi.

Gaya yang menyebabkan getaran dihasilkan dari gerak berputar elemen mesin. Gaya tersebut berubah dalam besar dan arahnya sebagai mana elemenputar berubah posisinya terhadap titik netral.

Akibatnya, getaran yang dihasilkan akan mempunyai frekuensi yang bergantung pada putaran elemen yang telah mengalami *trouble*. Oleh karena itu, dengan mengetahui frekuensi getaran akan dapat diidentifikasi bagian dari mesin yang bermasalah.

b. Perpindahan, Kecepatan, dan Percepatan

Perpindahan (*displacement*) kecepatan (*velocity*) dan percepatan (*acceleration*) diukur untuk menentukan besar dan kerasnya suatu getaran. Biasanya diwakili dengan pengukuran amplitudo getaran.

Perpindahan (*displacement*) adalah gerakan suatu titik dari suatu tempat ke tempat lain yang mengacu pada suatu titik tertentu yang tidak bergerak (tetap). Dalam pengukuran getaran mesin, sebagai standar digunakan jarak perpindahan puncak ke puncak (*peak to peak displacement*). Contohnya adalah perpindahan poros karena gerak putarnya. Jika perpindahan poros terlalu besar sampai melebihi batas "*clearance*" bantalan akan mengakibatkan rusaknya bantalan.

Kecepatan (*velocity*) merupakan perubahan jarak persatuan waktu. Kecepatan gerak mesin selalu dinyatakan dalam kecepatan puncak (*peak velocity*). Kecepatan puncak gerakan terjadi pada simpul gelombang. Dalam getaran, kecepatan merupakan parameter penting dan efektif, karena dari data kecepatan akan dapat diketahui tingkat getaran yang terjadi. Sedangkan percepatan (*acceleration*) adalah perubahan kecepatan persatuan waktu. Percepatan berhubungan erat dengan gaya. Gaya yang menyebabkan getaran pada bantalan mesin atau bagian-bagian lain dapat ditentukan dari besarnya getaran.

## 2.2. Metode Balancing

Metode *balancing* yang sering dilakukan didalam laboratorium adalah *single-plane balancing* dan *two-plane balancing*. Tiap metode ini menggunakan beban uji (*trial weight*) dan pengukuran beda fasa. *Balancing* biasanya dilakukan untuk putaran poros tertentu. Untuk poros kaku, *balancing* yang dilakukan di bawah putaran kritis I (*bending*) dapat efektif untuk setiap putaran poros (Structures/Motion Lab, 2003). Sedangkan untuk poros *flexible* yakni poros dengan perbandingan panjang terhadap diameter poros yang besar, maka *balancing* hanya akan efektif pada putaran poros yang tertentu saat dilakukan *balancing*.

*Balancing* yang dilakukan dekat dengan putaran kritis kebanyakan dihindari. Meskipun *balancing* yang dilakukan jauh dari putaran kritis akan menghasilkan respon getaran yang kecil sehingga lebih sulit diukur, akan tetapi ketika *balancing* dilakukan dekat dengan putaran kritis akan menghasilkan respon getaran yang besar sehingga lebih mudah diukur, namun dengan perubahan putaran sedikit saja dapat mempengaruhi pembacaan amplitudo dan fasa.

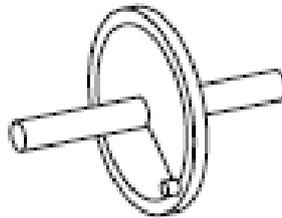
Fleksibilitas pada rotor dicapai tidak secara tiba-tiba, tetapi secara bertahap dengan bertambahnya putaran, dan meningkat secara kuadratis ketika dekat dengan resonansi atau putaran kritis. Pada kenyataannya banyak rotor akan menjadi fleksibel jika dipercepat ke putaran tinggi. Secara umum, rotor yang beroperasi di bawah 70% dari putaran kritisnya adalah masih dalam kondisi kaku (*rigid rotor*), sedangkan rotor yang dioperasikan di atas 70% dari putaran kritisnya akan mengalami lendutan yang disebabkan gaya *unbalance*, selanjutnya disebut sebagai rotor fleksibel (*flexible rotor*).

Pada proses *balancing* yang dilakukan mendekati putaran kritis sistem, akan sering muncul 'harmonik', yaitu ketika sistem diputar mendekati putaran kritis akan terjadi getaran yang besar, akibatnya sistem berperilaku sebagai sistem tak linier sehingga respon yang terjadi tidak lagi *sinusoidal*. Hal ini berarti selain frekuensi dasarnya, akan muncul frekuensi-frekuensi lain yang lebih tinggi

### 2.2.1 Two-Plane Balancing

*Unbalance* yang disebabkan adanya eksentrisitas antara sumbu poros dengan titik berat massa yang berputar akan menimbulkan getaran yang cukup

besar. Amplitudo getaran yang timbul karena berputarnya poros adalah berbanding secara kuadratis dengan putaran poros tersebut. Eksentrisitas digambarkan sebagai sistem titik massa yang berputar dengan jari-jari putar sebesar  $e$  dari titik putar seperti ditunjukkan pada gambar 2.3. seperti gambar di bawah ini :



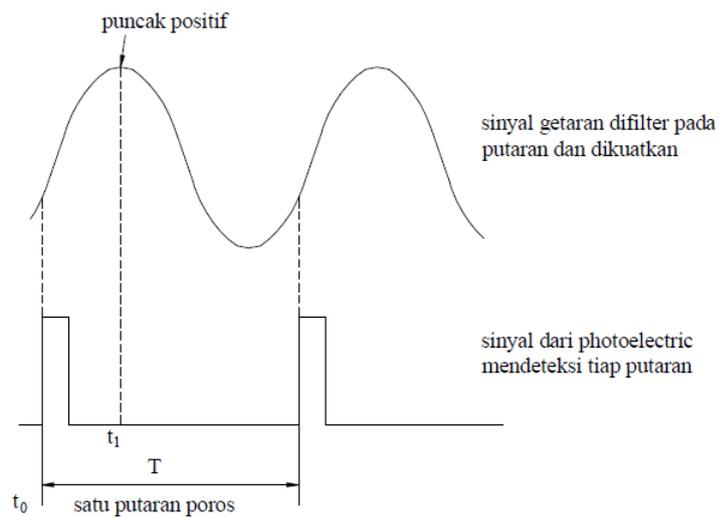
Gambar 2.3. eksentrisitas.

Massa *unbalance* terletak pada jarak radial tertentu terhadap sumbu poros yang berputar dengan frekuensi putar yang sesuai dengan putaran kerja poros. Gaya sentrifugal yang dihasilkan berupa vektor gaya dengan amplitudo sebesar  $m e \omega^2$  (massa *unbalance* x jarak massa *unbalance* ke sumbu poros x kuadrat putaran poros). Jika sepanjang poros tersebut terdapat beberapa massa *unbalance* maka gaya sentrifugal yang ditimbulkannya akan menyebabkan *momenunbalance*.

Agar piringan berputar tersebut dapat mendekati keseimbangan (*balance*) diusahakan untuk membuat sekecil mungkin eksentrisitas yang ada dengan cara menambah atau mengurangi massa benda yang berputar tersebut. Pada umumnya penambahan massa lebih mudah dilakukan, dan tidak merusak bentuk benda.

Supaya sistem berputar dapat diseimbangkan, terlebih dahulu harus dapat diketahui posisi vektor gaya yang tidak seimbang. Besarnya massa yang ditambahkan atau dikurangi dapat diperoleh dari pengukuran dan perhitungan. Untuk dapat mengetahui vektor gaya yang tidak seimbang, digunakan instrumen pengukuran yang konfigurasiya tergantung pada metode yang dipakai untuk mengetahui *unbalance* suatu sistem rotari. Pada penelitian ini digunakan metode vektor.

Sinyal yang dihasilkan *proximity sensor* berupa sinyal pemicu (*trigger*), sehingga untuk pengukuran beda fasa dilakukan dengan metode *trigger-sensor*. Dalam metode ini sudut fasa ditentukan positif jika berlawanan dengan arah putaran poros atau sudut adalah negatif jika searah dengan arah putaran poros. Sudut fasa diperoleh dari konversi sinyal *trigger* dan sinyal getaran seperti ditunjukkan pada gambar 2.4. Selanjutnya sudut fasa dapat ditentukan dengan persamaan perhitungan beda fasa.

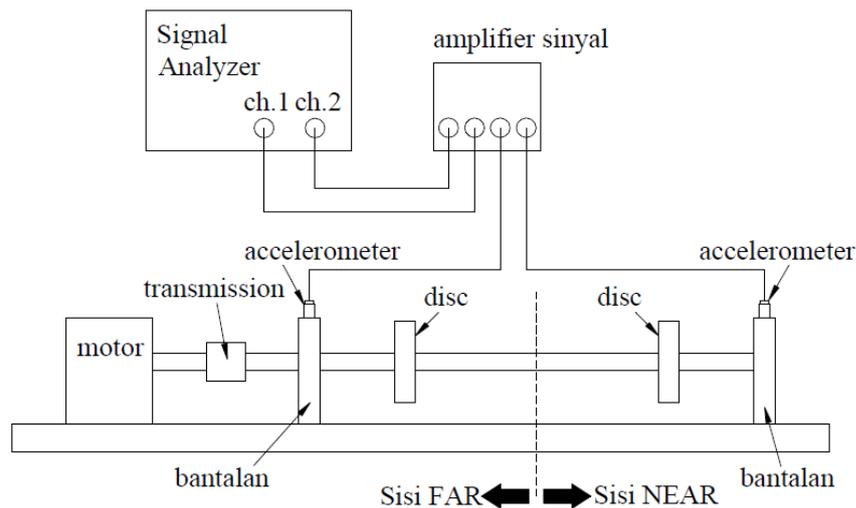


Gambar 2.4. metode perhitungan sudut fasa dari sinyal getaran dan *trigger*.

Metode *trigger-sensor* digunakan untuk menentukan beda fasa dengan menggunakan persamaan :

$$\Phi = \frac{t_1 - t_0}{T} \times 360^\circ \quad (2.1)$$

Beda fasa dinyatakan dengan  $\Phi$ , variabel  $t_1$  menyatakan waktu pada saat terjadi puncak pada gelombang respon getaran (gelombang sudah difilter untuk frekuensi putaran poros). Sedangkan  $t_0$  adalah waktu mulai/referensi dari sinyal yang dihasilkan oleh *proximity sensor* dan  $T$  adalah waktu total sinyal yang merupakan waktu putaran poros.



Gambar 2.5. skematik *two-plane balancing*

Jika pengukuran beda fasa dapat dilakukan, maka selanjutnya dilakukan *balancing* menggunakan metode vektor dengan fasa. *Balancing* dilakukan untuk *two-plane balancing* seperti pada gambar 2.5. Secara garis besar prosedur *two-plane balancing* untuk sistem poros-piringan adalah sebagai berikut :

- Poros-piringan yang berputar yang mana sebelumnya tidak diseimbangkan akan menimbulkan suatu amplitudo getaran. Amplitudo getaran di kedua ujung berbeda dan saling mempengaruhi. Sehingga diperlukan pendeteksian bergantian diantara kedua ujung poros tersebut. Amplitudo getaran yang timbul tersebut digambarkan sebagai vektor N dan F (N : *NEAR end* dan F : *FAR end*). N dan F disebut juga efek getaran dari *unbalance* awal.
- Sebuah massa yang diketahui beratnya diletakkan pada posisi sembarang pada sisi N akan menimbulkan amplitudo getaran baru yang dinyatakan sebagai vektor N2 dan F2. Kedua vektor ini mempunyai arah yang berbeda dari vektor N dan F, karena beda fasa yang ditimbulkan juga berbeda. Vektor N2 dan F2 ini adalah efek dari *unbalance* awal dan akibat dari massa yang ditambahkan

### 2.3 Alat Keseimbangan Dinamik (Balancing machine)

Alat keseimbangan dinamik adalah alat ukur yang digunakan untuk menyeimbangkan berputar bagian mesin seperti : rotor untuk motor listrik, kipas

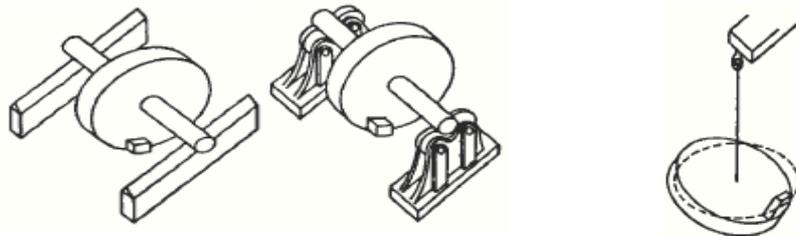
angin, turbin, rem cakram, disc drive, baling-baling dan pompa. Mesin biasanya terdiri dari dua tiang kaku, dengan suspensi dan bantalan di atas mendukung platform pemasangan. Unit yang diuji melekat ke platform dan diputar. Sebagai bagian diputar, getaran dalam suspensi terdeteksi dengan sensor dan informasi yang digunakan untuk menentukan jumlah ketidak seimbangan di bagian. Seiring dengan informasi fase, mesin dapat menentukan berapa banyak dan di mana untuk menambahkan bobot untuk menyeimbangkan bagian. Sebuah komponen mesin yang tidak balance akan menimbulkan getaran dan beban berlebih yang ditanggung oleh komponen tersebut dari bagian bagian penyokongnya, oleh karena itu proses balancing berguna untuk :

- a) Memperpanjang umur bearing.
- b) Meminimalkan getaran yang timbul.
- c) Meminimalkan tegangan operasi.
- d) Memperpanjang umur dan daya tahan komponen terhadap fatigue.

Jenis alat keseimbangan dinamik, maka dapat di klasifikasikan berdasarkan bermacam macam pertimbangan yaitu:

1. Gravity balancing machines
  2. Centrifugal balancing machines
- Gravity balancing machines

Ada tiga jenis mesin yang termasuk dalam mesin pembalans gravitasi horizontal ways (sisi pisau),roller stands dan vertical pendulum.ketiga jenis ini dapat dilihat konstruksinya pada gambar 2.1



Horizontal ways (sisi pisau)

Roller Stands

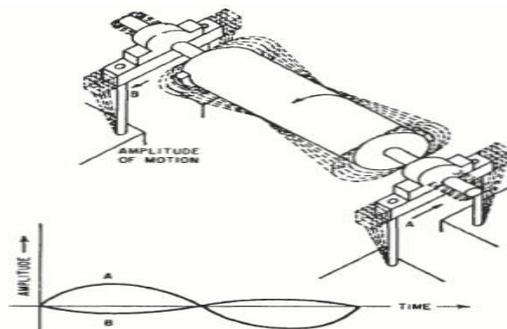
Vertical pendulum

Gambar 2.6. Jenis gravity balancing machines

Prinsip yang digunakan dalam gravity balancing machines ini adalah fakta dimana sebuah benda bebas cenderung untuk mencari posisi dimana pusat gravitasi rendah. Pada mesin tipe horizontal ways, sebuah masa diletakan pada ujung sisi pisau mesin, seperti ditunjukkan dihalaman sebelumnya. Diasumsikan bahwa rotor yang digunakan telah balans dan posisi kedua mata pisau sejajar, paralel dan lurus. Setelah ditambahkan suatu massa tertentu, maka dalam operasinya massa akan bergerak kearah titik dimana terdapat pusat gravitasi yang terendah. Posisi terendah ini menginden tifikasikan arah sudut unbalance yang terjadi. Pengukuran besar unbalance yang terjadi dilakukan dengan metode epiris, yaitu dengan menambahkan sejumlah massa tertentu diarah yang berbeda, sampai tercapai kondisi kesetimbangan

- Centrifugal Balancing Machines

bearing dan hard bearing. Kedua jenis tersebut hanya berbeda kelakuan bearing digunakannya. Konstruksi dari mesin tersebut secara sederhana dapat dilihat gambar 2.7. bearing dan komponen penyokong lain yang melekat padanya bergetar seiring dengan getaran dan massa tambahan yang terdapat didalamnya.



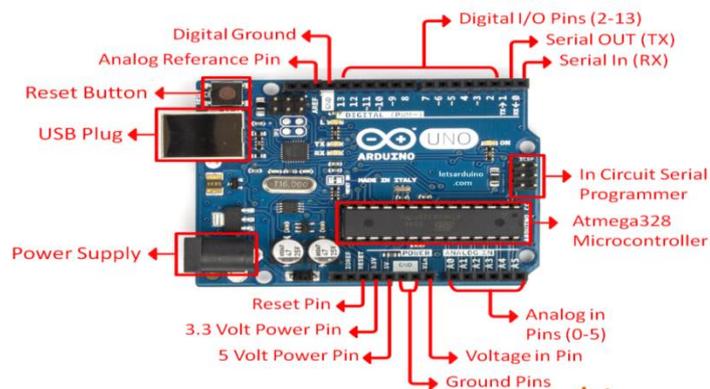
Gambar 2.7 Centrifugal balancing machines

#### 2.4 *Microcontroler*

*Microcontroler* adalah sebuah sistem komputer fungsional dalam sebuah chip. Didalamnya terkandung sebuah inti prosesor, memori (sejumlah kecil RAM, memori program, atau keduanya), dan perlengkapan *input output*. *Microcontroler* digunakan dalam produk dan alat yang dikendalikan secara otomatis, seperti sistem kontrol mesin, *remote controls*, mesin kantor, peralatan rumah tangga, alat

berat dan mainan. *Microcontroller* membuat kontrol elektrik untuk berbagai proses menjadi lebih ekonomis.

Pada studi eksperimental ini *microcontroller* yang digunakan yaitu *Arduino UNO*. *Arduino UNO* adalah sebuah board *microcontroller* yang didasarkan pada AT mega 328 (data sheet). *Arduino UNO* mempunyai 14 pin digital input / output (6 diantaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah power jack, sebuah ICSP header, dan sebuah tombol reset.

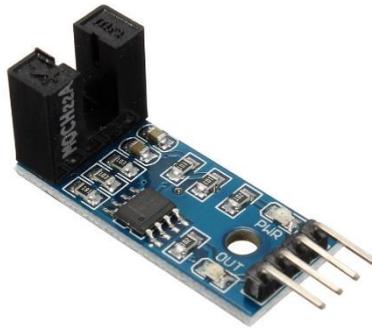


Gambar 2.8. *Arduino UNO*

*Arduino UNO* memuat semua yang dibutuhkan untuk menunjang *microcontroller*, mudah menghubungkan ke sebuah komputer dengan sebuah kabel USB atau mensuplainya dengan sebuah adaptor AC ke DC atau menggunakan baterai untuk memulainya.

## 2.5. Sensor Kecepatan

Proses penginderaan sensor kecepatan merupakan proses kebalikan dari suatu motor, dimana suatu poros/object yang berputar pada suatu generator akan menghasilkan suatu tegangan yang sebanding dengan kecepatan putaran object. Kecepatan putar sering pula diukur dengan menggunakan sensor yang mengindera pulsa magnetis (induksi) yang timbul saat medan magnetis terjadi. Dalam prakteknya ada beberapa sensor yang digunakan untuk berbagai keperluan. Import groove coupler adalah jenis sensor celah opto-coupler yang akan menghasilkan sinyal output High TTL ketika sebuah objek terdeteksi pada celah seperti pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Import groove coupler

## 2.6. Sensor

*Vibration* sensor / Sensor getaran ini memegang peranan penting dalam kegiatan pemantauan sinyal getaran karena terletak di sisi depan (front end) dari suatu proses pemantauan getaran mesin. Secara konseptual, sensor getaran berfungsi untuk mengubah besar sinyal getaran fisik menjadi sinyal getaran analog dalam besaran listrik dan pada umumnya berbentuk tegangan listrik. Pemakaian sensor getaran ini memungkinkan sinyal getaran tersebut diolah secara elektrik sehingga memudahkan dalam proses manipulasi sinyal, diantaranya

1. Pembesaran sinyal getaran
2. Penyaringan sinyal getaran dari sinyal pengganggu.
3. Penguraian sinyal, dan lainnya.



Gambar 2.10 Sensor Getaran/Vibration

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

##### 3.1.1 Tempat

Adapun tempat pelaksanaan penelitian dilaksanakan di laboratorium Fakultas Teknik mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jl Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan

##### 3.1.2. Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan setelah mendapat persetujuan dari pembimbing pada tanggal 9 September 2019 dan terlihat pada tabel 3.1 dibawahini :

Tabel 3.1 : Jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian

No	Kegiatan	feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Agus
1	Study literatur							
2	Desain Mesin Balancing							
3	Pembuatan Alat Mesin Balancing							
4	Pengujian Spesimen							
5	Evaluasi data penelitian							

## 3.2 Alat Dan Bahan

### 3.2.1 Alat

#### 1. Alat Keseimbangan Dinamik

Alat keseimbangan dinamik digunakan sebagai alat bantu pengujian keseimbangan pada rotor atau poros seperti gambar 3.2.1



Gambar 3.1 Alat Keseimbangan Dinamik

#### 2. Motor Listrik AC

Motor listrik AC digunakan sebagai penggerak poros dengan bantuan belting sebagai penerus putaran motor listrik AC, adapun spesifikasi motor AC adalah motor 3 fasa 1 hp (0,735 Kw) yang dihubungkan langsung dengan listrik untuk menggerakkan poris dengan bantu belting seperti gambar 3.2



Gambar 3.2 Motor Listrik AC

### 3. Panel listrik

Digunakan sebagai penyambung dan pemutus pada motor AC, seperti gambar 3.3



Gambar 3.3 Panel Listrik

### 4. Inverter

Inverter digunakan untuk mengubah arus AC ke DC untuk menyuplay listrik kedinamo motor dan dapat mengubah daya sesuai keinginan kita, inverter yang digunakan adalah Tosibah VFS11-4022PL-WN Transistor inverter 3 Hp seperti gambar 3.4



Gambar 3.4. Inverter

## 5. Arduino UNO

Arduino digunakan sebagai microconteller pembaca sensor getaran dan sensor kecepatan motor yang terhubung dengan komputer. Hasil pencatatan data berupa data sheet, dan mempunyai spesifikasi prosesor Atmega 328P, Hasil Pencatatan Data berubah data sheet, seperti gambar 3.5



Gambar 3.5 Arduino UNO

## 6. Sensor Getaran

Sensor getaran untuk mendeteksi getaran dari area yang dipasangkan sensor getaran untuk mendeteksi getaran yang terjadi pada benda uji, seperti gambar 3.6



Gambar 3.6 Sensor Getaran

## 7. Sensor Kecepatan

Untuk mengukur kecepatan pada motor DC dengan bantuan plat yang dipasangkan pada puli, seperti gambar 3.7



Gambar 3.7. Sensor Kecepatan

#### 8. Laptop

Laptop digunakan untuk menampilkan data sheet pada arduino UNO, laptop ini mempunyai spesifikasi : Acer Intel Core i5-4210U processor (1,7 GHz,3M Cache) Up to 2,70 GHz,4GB ram, %00GB HDD,VGA seperti gambar 3.8



Gambar 3.8. Laptop

#### 9. Mesin Bubut

Digunakan untuk pembuatan poros spesimen yang akan diuji, seperti gambar 3.9



Gambar 3.9 Mesin Bubut

#### 10. Sigmat

Sigmat digunakan sebagai alat pengukur diameter spesimen dan poros, seperti gambar 3.10



Gambar.3.10.Sigmat

#### 11. Waterpass

Waterpass digunakan untuk mengukur atau menentukan spesimen/poros dalam posisi rata baik pengukuran secara vertikal atau pun horizontal, seperti gambar 3.11



Gambar 3.11. Waterpass

#### 12. Meter

Digunakan sebagai alat untuk mengukur panjang poros, seperti gambar 3.12



Gambar 3.12. Meter

### 3.2.2 Bahan

#### 1. Piringan Ganda

Piringan ganda digunakan sebagai spesimen yang akan diuji pada bahan keseimbangan dinamik, seperti gambar 3.13



Gambar 3.13 Piringan Ganda

#### 2. Poros

Poros digunakan sebagai peletakan spesimen yang akan diuji dan sebagai poros alat keseimbangan dinamik, seperti gambar 3.14



Gambar 3.14 Poros

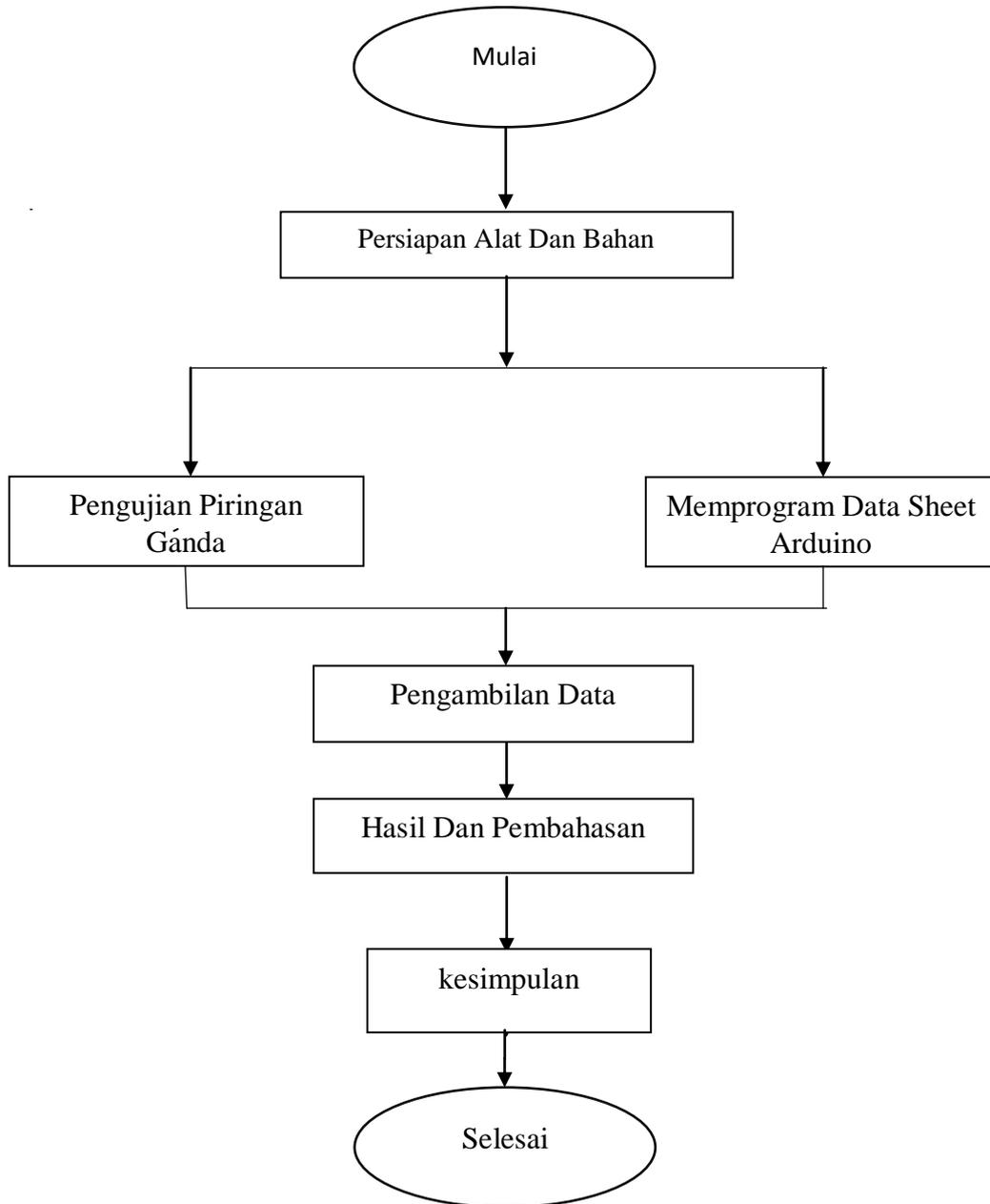
### 3. Baut

Baut digunakan sebagai massa pada variasi jari-jari piringan yang akan diuji pada bahan keseimbangan dinamik, seperti gambar 3.15



Gambar 3.15 Baut

### 3.3. Diagram Alir



Gambar 3.16 Diagram Alir

### 3.4. Prosedur Pengujian

Pada pengujian ini melakukan perilaku getaran pada piringan ganda akibat transisi perubahan putaran. Adapun langkah – langkah pengujian sebagai berikut :

1. Menyiapkan semua peralatan dan bahan yang akan di uji
2. Pasangkan piringan ganda pada poros
3. Memasangkan poros ke mesin balancing
4. Mengaktifkan semua sensor yang terprogram dalam arduino ke laptop
5. Buka software penunjuk alat ukur
6. Menekan tombol hijau di panel untuk menghidupkan mesin balancing
7. Memulai pengambilan data pada piringan ganda saat mesin balancing hidup
8. Menyimpan data yang telah di uji dan di rekam oleh arduino
9. Membaca getaran pada piringan ganda yang terjadi pada mesin balancing
10. Menekan tombol merah di panel untuk mematikan mesin balancing
11. Merapikan dan menyimpan semua peralatan yang telah di gunakan
12. Selesai

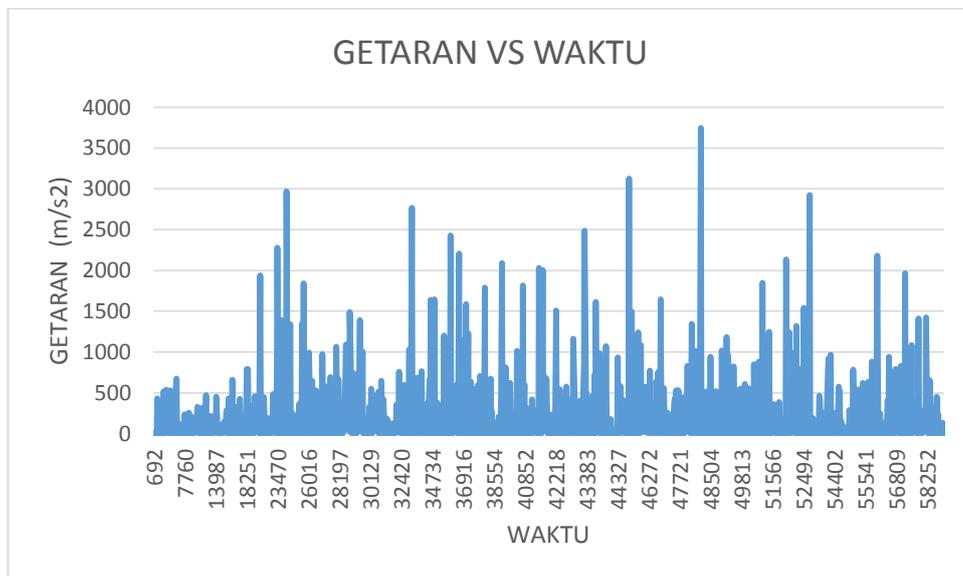
## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa Data Hasil Pengujian

Setelah melakukan pengujian, adapun data yang diambil dari hasil pengujian ini yang sesuai dengan pembahasan dari tujuan pengujian tugas akhir adalah sebagai berikut :

#### 4.1.1. Perbandingan getaran dan waktu perubahan transisi putaran 20 Hz pada piringan ganda

Hasil pengujian perbandingan getaran dengan waktu pada putaran 20 Hz di jabarkan pada grafik di bawah ini :

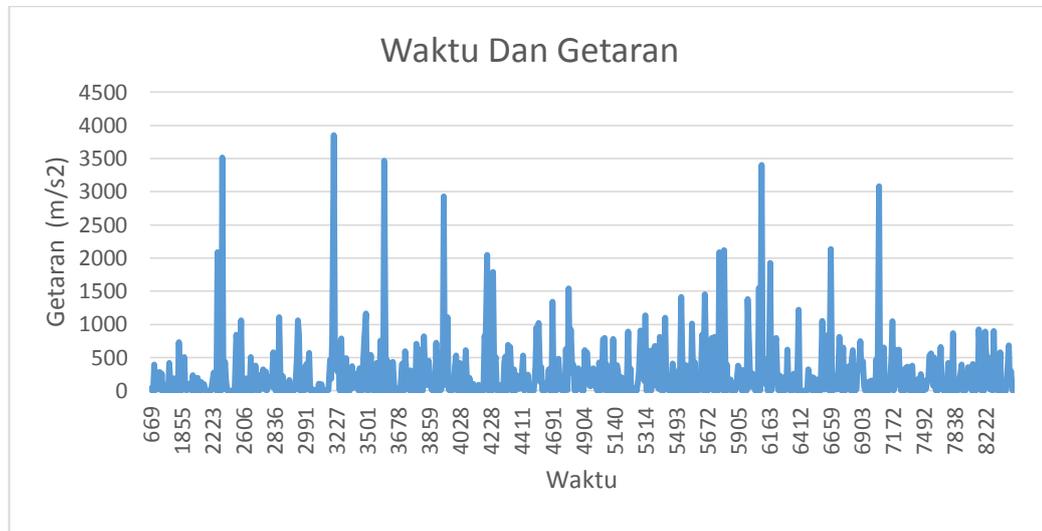


Gambar 4.1 perbandingan getaran dengan waktu

Berikut adalah grafik perbandingan getaran dengan waktu pada proses mesin balancing pada setelah di lakukan pengujian pada transisi putaran 20 Hz pada piringan ganda maka dapatlah hasil perbandingan getaran dengan waktu pada gambar 4.1 di atas.

4.1.2. Perbandingan getaran dan waktu perubahan transisi putaran 30 Hz pada piringan ganda

Hasil pengujian perbandingan getaran dengan waktu pada putaran 30 Hz di jabarkan pada grafik di bawah ini :

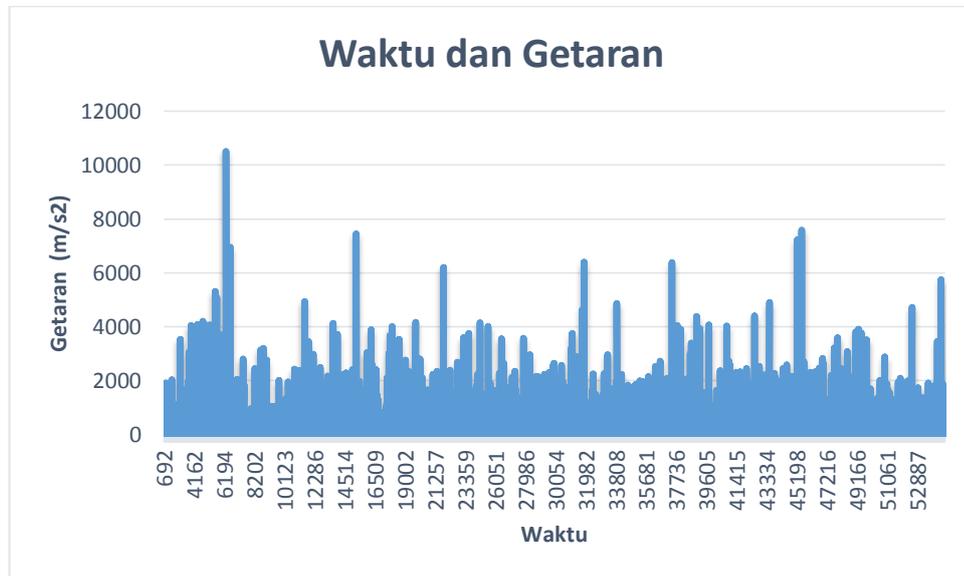


Gambar 4.2 Perbandingan getaran dengan waktu

Berikut adalah grafik perbandingan getaran dengan waktu pada proses mesin balancing pada setelah di lakukan pengujian pada transisi putaran 30 Hz pada piringan ganda maka dapatlah hasil perbandingan getaran dengan waktu pada gambar 4.3 di atas.

#### 4.1.3. Perbandingan getaran dan waktu perubahan transisi putaran 40 Hz pada piringan ganda

Hasil pengujian perbandingan Getaran dengan waktu pada putaran 40 Hz di jabarkan pada grafik di bawah ini :



Gambar 4.3 Perbandingan Getaran dengan waktu

Berikut adalah grafik perbandingan Getaran dengan waktu pada proses mesin balancing pada setelah di lakukan pengujian pada transisi putaran 40 HZ pada piringan ganda maka dapatlah hasil perbandingan getaran dengan waktu pada gambar 4.5 di atas.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data yang telah dilakukan pada perilaku getaran pada piringan ganda akibat transisi perubahan putaran dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Sebuah mesin yang ideal sempurna pada prinsipnya tidak menimbulkan getaran sama sekali, Getaran adalah suatu hal yang tidak diharapkan muncul dari sebuah sistem kerja pada suatu instalasi mesin.

#### **5.2 Saran**

1. Semoga dalam pengujian selanjutnya dapat memperbanyak jumlah variasi putaran yang berbeda.
2. Bagi Mahasiswa yang ingin melanjutkan pengujian ini agar dapat menambah variasi sensor.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim1. 2012. Pengertian getaran. <http://wikipedia.org>. pengertian + getaran. Diambil pada 23 Februari 2018.
- Benny Kresno Sunarko, 2010. Analisa Getaran Pada Mesin Sepeda Motor Berbasis Labviw. <http://www.jurnal.fmipa.ui.ac.id>, diakses 8 maret 2018.
- Dwi Rahmanto, 2007, "Pengaruh Variasi Putaran Terhadap Efektivitas *Balancing* Poros Fleksible Pada Poros *Two-plane Balancing*", <https://eprint.uns.ac.id>, diakses 8 jauari 2018.
- George H. Martin, kinematika dan dinamika teknik diterjemahkan oleh: Ir. Setiyo Bakti, Penerbit Erlangga 1994  
Diambil pada 24 maret 2018
- [Http://digilab.itb.ac.id/pengertian\\_balancing.html](Http://digilab.itb.ac.id/pengertian_balancing.html)  
Diambil pada 4 maret 2018
- Structures I motoin lab 20-263-521, seaction 001, 002, 003, Hewlet Packard, 2003  
Diambil pada 5 mei 2018
- Tim Getaran mekanis, 2002, panduan praktikum fenomena dasar mesin, sub getaran mekanis, modul III balancing empat putaran (four-run balancing), Jurusan teknik Universitas sebelas maret, surakarta  
Diambil pada tanggal 20 april 2018
- Tim Getaran mekanis, 2002, panduan praktikum fenomena dasar mesin, sub getaran mekanis, modul III balancing empat putaran (four-run balancing), Jurusan teknik Universitas sebelas maret, surakarta.
- Wowk, vocotr, 1995, machinery vibration, balancing, MCGraw-Hill inc, New York  
*Arduino Uno*, [Online : [ilearning.mc/sample.page.162/arduino/pengertian-arduino.uno](http://ilearning.mc/sample.page.162/arduino/pengertian-arduino.uno)], diakses 20 februari 2018.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### **DATA PRIBADI**

Nama : Khairuddin Sigalingging  
Alamat : Jl. KH.Dewantara  
Jenis kelamin : Laki – laki  
Agama : Islam  
Status : Belum Menikah  
Tempat dan Tgl. Lahir : Sibolga, 29 April 1993  
Kewarganegaraan : Indonesia  
No.Telp : 081269947003

### **ORANG TUA**

Nama Ayah : Syahrul Sigalingging  
Agama : Islam  
Nama Ibu : Wardiani Tanjung  
Agama : Islam  
Alamat : Jl. KH.Dewantara

### **LATAR BELAKANG PENDIDIKAN**

2006-2007 : SD Negeri 152979 Pandan I.  
2009-2010 : SMP Negeri I Pandan, Tapanuli Tengah  
2012-2013 : SMK Negeri III Sibolga  
2013-2019 : Tercatat Sebagai Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU)