

**INSTRUMENTASI PENGUKURAN GETARAN
TORSIONAL PADA ALAT UJI *ROTARY BALANCING***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Jurusan Teknik Mesin**



Oleh:

Nama : Nanang Sholakhuddin

No. Mahasiswa : 04 525 006

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRY
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2011**

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

INSTRUMENTASI PENGUKURAN GETARAN

TORSIONAL PADA ALAT UJI *ROTARY BALANCING*

TUGAS AKHIR

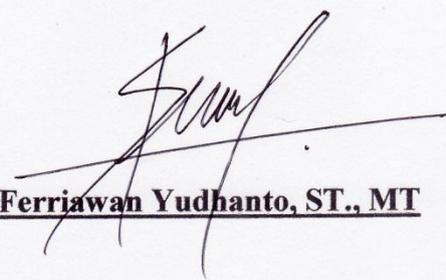


Oleh:

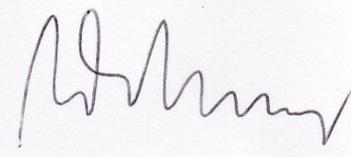
Nama : Nanang Sholakhuddin

No. Mahasiswa : 04 525 006

Dosen Pembimbing I


Ferriawan Yudhanto, ST., MT

Dosen Pembimbing II


Agung Nugroho Adi, ST., MT

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

INSTRUMENTASI PENGUKURAN GETARAN

TORSIONAL PADA ALAT UJI *ROTARY BALANCING*

TUGAS AKHIR

Oleh:

Nama : Nanang Sholakhuddin

No. Mahasiswa : 04 525 006

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi
Industri Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta, Juli 2011

Tim Penguji,

1. Yustiasih Purwaningrum, ST., MT
Ketua
2. Ferriawan Yudhanto, ST., MT
Anggota I
3. Tri Setya Putra, ST
Anggota II



Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia



Agung Nugroho Adi, ST., MT.

MOTTO

“Allah Mengangkat Orang yang Beriman dari Golonganmu dan Juga Orang-orang yang Dikurniakan Ilmu Pengetahuan Hingga Beberapa Darjat”

(Al-Mujadalah : 11)

“Barangsiapa Memikirkan Kepentingan Saudaranya, Maka Allah akan Memenuhi Segala Kebutuhannya”

(Imam Ghazali)

“Semua akan Terlihat Indah Saat Fokus”

(Sholakhuddin)

“Ingatlah Saat-saat Gelap, Sedikit Cahaya akan Menuntunmu”

(Samurai)

KATA PENGANTAR



Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir dapat diselesaikan. Sholawat dan salam dihaturkan kepada Nabi Muhammad SAW teladan umat manusia.

Tugas akhir berjudul **“Instrumentasi Pengukuran Getaran Torsional pada Alat Uji Rotary Balancing”** bertujuan membantu para peneliti getaran menentukan titik seimbang sistem dan parameter-parameter penyebab ketidakseimbangan.

Laporan tugas akhir disusun sebagai syarat memperoleh gelar sarjana Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia. Serta sebagai sarana untuk mempraktekkan secara langsung ilmu dan teori yang telah diperoleh selama menjalani program belajar di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih atas bantuan, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak demi kelancaran pelaksanaan tugas akhir kepada:

1. Mama dan Mimi, semoga Allah membalas amal budinya dengan kasih sayang yang berlimpah.
2. Kakanda Angia, Angmila, dan Angamo yang telah memberi dukungan dan semangat.
3. Adinda Indun, Yazid, Vivi Ummu, dan Dede.
4. Bapak Ferriawan Yudhanto, Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu untuk berdiskusi dan mencari solusi terselesaikannya tugas akhir.
5. Bapak Agung Nugroho Adi, Dosen Pembimbing II sekaligus Ketua Jurusan Teknik Mesin yang telah meluangkan waktu dan memberi solusi tugas akhir.

6. Bapak Gumbolo Hadi Susanto, Dekan Fakultas Teknologi Industri.
7. Teman-teman Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri yang telah membantu kelancaran tugas akhir.
8. Teman-teman kost.
9. Bapak dan Ibu Kost.

Semoga Allah membalas budi baik dan keikhlasannya, Amin.

Yogyakarta, Juli 2011



Penulis

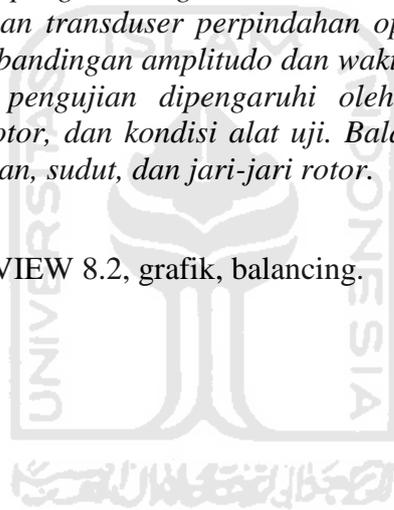
ABSTRAKSI

Ketidakseimbangan umumnya terjadi pada mesin yang berputar. Ketidakseimbangan disebabkan oleh gaya sentrifugal yang berlebihan. getaran berlebihan dapat menimbulkan kerusakan. Getaran torsional menitikberatkan getaran yang terjadi pada poros suatu sistem sehingga butuh instrumentasi yang lebih teliti. Maka pembuatan alat untuk instrumentasi pengukuran dibuat untuk pengawasan getaran dan mengetahui posisi seimbang.

Pada penelitian ini, pengukuran getaran menggunakan transduser perpindahan optik. Hasil pengujian ditampilkan pada komputer lewat port USB berupa grafik menggunakan software LabVIEW 8.2 Student Edition. Grafik yang dihasilkan menjelaskan perbandingan waktu dan amplitudo. Pengambilan data dilakukan dengan parameter perbedaan letak bantalan, perbedaan massa pembebanan, perbedaan sudut pembebanan, dan perbandingan kecepatan rotor.

Dari instrumentasi pengukuran getaran ini, dihasilkan alat instrumentasi pengukuran getaran dengan transduser perpindahan optik. Hasil pengukuran getaran berupa grafik perbandingan amplitudo dan waktu yang ditampilkan pada PC (komputer). Hasil pengujian dipengaruhi oleh sensitifitas transduser, keseimbangan putaran motor, dan kondisi alat uji. Balancing dilakukan dengan memperhatikan pembebanan, sudut, dan jari-jari rotor.

Kata kunci: getaran, LabVIEW 8.2, grafik, balancing.



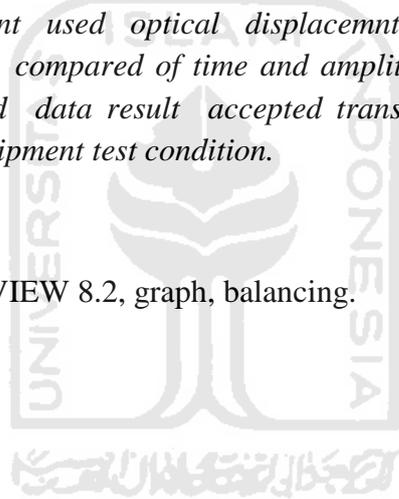
ABSTRACT

Usually, unbalance occurred in rotating machinery. Unbalance cause of Excessive centrifugal force. Excessive vibration will cause to fail prematurely on machine. Torsional vibration focus in shaft vibration of system. Precision equipment for instrumentation required. Instrumentation of measured equipment vibration monitoring developed and find balance position.

This aim of research, vibration measured used optical displacement transducer. Result test display by personal computer (PC) via USB port in graph used LabVIEW 8.2 Student Edition software. The graph is time and amplitude compared. Measured data result are related with bearing position parameter, mass difference, angle mass difference, and rotor velocity difference.

From vibration measured instrumentation, developed vibration measured instrumentation equipment used optical displacement transducer. Vibration measured result in graph, compared of time and amplitude display by personal computer (PC). Measured data result accepted transducer sensitivity, rotary balance of motor, and equipment test condition.

Keyword: vibration, LabVIEW 8.2, graph, balancing.



DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing.....	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji.....	ii
Motto	iv
Kata Pengantar	v
Abstraksi	vii
Abstract	viii
Daftar Isi.....	ix
Daftar Tabel	xi
Daftar Gambar.....	xii
Daftar Simbol.....	xiii
Daftar Lampiran.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	4
2.1 Kajian Pustaka.....	4
2.2 Getaran	5
2.2.1 Jenis-jenis Getaran	6
2.2.2 Parameter Dinamik.....	8
2.2.3 Analogi Getaran Lateral dengan Getaran Torsional	9
2.3 Pengukuran Teknik.....	10
2.3.1 Elemen Pengukur Getaran.....	10
2.3.2. Akusisi Data.....	16

2.3.3. LabVIEW	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	20
3.1 Urutan Penelitian	20
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	22
3.3 Perangkat Keras.....	22
3.4 Perangkat Lunak.....	22
3.5 Metode Pengujian.....	23
3.5.1 Pengujian Perbedaan Letak Bantalan.....	24
3.5.2 Pengujian Perbedaan Pembebanan.....	25
3.5.3 Pengujian Perbedaan Sudut.....	25
3.5.4 Pengujian Perbedaan Kecepatan	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Perangkat Keras Instrumentasi Getaran	27
4.2 Tampilan Perangkat Lunak.....	27
4.3 Pengujian Alat	30
4.4 Pengujian Getaran	31
4.4.1 Perbedaan Letak Bantalan.....	31
4.4.2 Perbedaan Pembebanan Puli	33
4.4.3 Perbedaan Sudut Pembebanan Puli	34
4.4.3 Perbedaan Kecepatan Rotor	35
BAB V PENUTUP.....	37
5.1 Kesimpulan.....	37
5.2 Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN.....	40

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Parameter Getaran	9
Tabel 2.2	Transduser Pasif	13
Tabel 2.3	Transduser Aktif	14
Tabel 4.1	Perbedaan Letak Bantalan	31
Tabel 4.2	Perbedaan Pembebanan	33
Tabel 4.3	Perbedaan Sudut	34
Tabel 4.4	Perbedaan Uji	36



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Model Getaran Lateral.....	6
Gambar 2.2	Model Getaran Aksial.....	7
Gambar 2.3	Model Getaran Torsional.....	8
Gambar 2.4	Sensor	11
Gambar 2.5	Karakteristik Sinyal terhadap Waktu.....	13
Gambar 2.6	Pengolahan Sinyal	16
Gambar 2.7	Sistem Akuisisi Data	17
Gambar 2.8	Komunikasi Data	18
Gambar 2.9	<i>Data Flow LabVIEW</i>	19
Gambar 2.10	Keluaran <i>Graphic Interface</i>	19
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Penelitian	20
Gambar 3.2	Diagram Alir Program.....	23
Gambar 3.3	Perbedaan Letak Bantalan	24
Gambar 3.4	Penyangga dan Letak Sensor.....	24
Gambar 3.5	Sketsa Pembebanan	25
Gambar 3.6	Letak Pembebanan.....	26
Gambar 4.1	Perangkat Akuisisi Data	27
Gambar 4.2	Program	28
Gambar 4.3	Tampilan Program Instrumentasi	29
Gambar 4.4	Rangkaian Pengujian	30
Gambar 4.5	Perbedaan Letak Bantalan	32
Gambar 4.6	Perbedaan Pembebanan	34
Gambar 4.7	Perbedaan Sudut Puli.....	35
Gambar 4.8	Perbedaan Kecepatan Rotor	36

DAFTAR SIMBOL

C	= Konstanta Redaman (Ns/m)
d	= Diameter Poros (m)
e	= Eksentris <i>Unbalance</i>
F	= Gaya (N)
G	= Modulus Geser (N/m ²)
G_u	= Grade <i>Unbalance</i>
I	= Momen Inersia (m ⁴)
K	= Kekakuan Pegas Sistem (N/m)
l	= Jarak antar Bantalan (m)
M	= Massa Puli atau Rotor (Kg)
m	= Massa <i>Unbalance</i> (Kg)
n	= Putaran Motor (Rpm)
R	= Rasio Frekuensi
r	= Jari-jari <i>Unbalance</i> (mm)
U	= <i>Unbalance</i> (Kg m)
x	= Amplitudo (mm)
ζ	= Faktor Redam
δ	= Pengurangan Amplitudo (Dekremen)
ω	= Kecepatan Anguler Motor (rad/s)
ω_n	= Kecepatan Anguler Sistem
θ	= Sudut Fase

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Perbedaan Letak Bantalan	40
Lampiran B Perbedaan Pembebanan	45
Lampiran C Perbedaan Sudut.....	47
Lampiran D Perbedaan Kecepatan	48
Lampiran E Kesalahan Pengujian	50
Lampiran F Spesifikasi <i>Hardware</i>	51



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi dari masa ke masa berkembang cepat terutama di bidang otomasi industri. Perkembangan ini tampak jelas di industri manufaktur, sebelumnya banyak pekerjaan menggunakan tangan manusia, kemudian beralih menggunakan mesin, berikutnya dengan elektro-mekanik (*semi automatic*) dan sekarang sudah menggunakan robotic (*full automatic*).

Pada dunia manufaktur atau industri, mesin-mesin rotasi digunakan secara luas di bidang permesinan sebagai penghasil ataupun pengantar daya. Selama beroperasi, mesin-mesin ini mendapat gaya maupun momen sehingga menghasilkan getaran dalam segala arah. Getaran yang terjadi pada mesin dapat berupa getaran translasi maupun rotasi. Getaran translasi 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 getaran torsional.

Berdasarkan tinjauan di Laboratorium Konversi Energi Universitas Islam Indonesia (UII), belum terdapat alat uji getaran torsional begitu pula dengan *balancing* dan instrumentasi pengukurannya. Alat-alat ukur banyak diproduksi sesuai dengan perkembangan otomasi industri. Dengan adanya alat ukur tersebut, kontrol kualitas atau kalibrasi produk bisa dilakukan dengan cepat dan efisien, sesuai dengan perkembangan otomasi industri yang memudahkan pengawasan atau kontrol getaran torsi pada alat uji *rotary balancing*. Selain itu, parameter-parameter penyebab getaran torsi bisa diketahui dan mencari solusi dari masalah tersebut. Oleh karena itu, diperlukan sebuah instrumentasi pengukuran getaran torsional untuk membantu mengetahui nilai getaran dengan cepat dan akurat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dijelaskan diatas dapat diambil suatu rumusan masalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana merancang instrumentasi pengukuran pada alat uji *rotary balancing* ?
- 2) Bagaimana merealisasikan rancangan instrumentasi menjadi produk yang diinginkan ?
- 3) Bagaimana menampilkan grafik *unbalance*?

1.3 Batasan Masalah

Pembatasan masalah dalam penelitian dimaksudkan supaya sesuai dengan yang diteliti, pembahasan penelitian lebih fokus, jelas dan tidak meluas ke masalah lain. Batasan masalah pada penelitian instrumentasi pengukuran getaran torsional pada alat uji *rotary balancing* yaitu:

- 1) Menampilkan grafik hasil pengukuran getaran
- 2) Pengukuran dilakukan menggunakan sensor perpindahan optik
- 3) Pemrograman menggunakan LabVIEW 8.2
- 4) Akuisisi data menggunakan *unit serial bus* (USB)
- 5) Menemukan titik tidak seimbang (*unbalance*) dengan perbedaan letak bantalan, perbedaan pembebanan, perbedaan sudut pembeban, dan perbedaan kecepatan rotor.

1.4 Tujuan

Tujuan tugas akhir ini adalah membuat alat untuk instrumentasi pengukuran getaran torsional. Alat tersebut digunakan untuk mengetahui posisi seimbang (*balance*), pengawasan (*monitoring*) *balancing* menggunakan PC (*personal computer*), dan karakteristik *rotary balancing* yang terjadi akibat transmisi daya yang disebabkan oleh motor dan sabuk (*belt*). Mengetahui parameter-parameter penyebab ketidakseimbangan (*unbalance*) dan solusinya.

1.5 Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah mahasiswa mampu merancang dan membuat instrumen atau alat ukur getaran torsional, mengetahui fenomena getaran torsional dan mengetahui penyebab ketidakseimbangan (*unbalance*).

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini disusun dengan kerangka pembahasan sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN berisi tentang uraian latar belakang, tujuan, permasalahan, batasan masalah, metodologi dan sistematika pembahasan.

BAB II : DASAR TEORI berisi tentang teori-teori penunjang dalam proses perancangan dan pembuatan perangkat keras dan lunak dari proyek akhir yang secara garis besar menguraikan tentang sensor, operasional *amplifier*, pengubah data analog ke digital dan *interfacing USB*.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN berisi tentang penjelasan mengenai tahap demi tahap perancangan serta realisasi studi yang meliputi sensor, operasional *amplifier*, komunikasi serial dan program untuk mengukur getaran yang terjadi pada alat uji.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN berisi tentang pengujian dan perhitungan teori praktis terhadap hasil pengamatan secara keseluruhan dari sistem yang telah dibuat.

BAB V : PENUTUP berisi tentang kesimpulan dari pembahasan sebelumnya serta saran-saran guna pengembangan dan penyempurnaan proyek akhir lebih lanjut.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Getaran merupakan salah satu bagian yang harus diperhatikan dalam bidang manufaktur maupun sipil. Baik getaran lateral, aksial maupun torsional. Perkembangan tentang diagnosa getaran mengalami perkembangan signifikan dalam metode perhitungan teoritis dan instrumentasi pengukuran getaran. Hal tersebut telah terjadi pada skala laboratorium maupun industri. Berikut beberapa abstrak dari tulisan dan jurnal yang berhubungan dengan getaran sebagai acuan tugas akhir ini.

Frantisek Palcak dan Martin Vanco (2007) melakukan penelitian tentang redaman yang disebabkan *bearing* dan *plate*. Parameter penelitian, menghubungkan *bearing* dengan transmisi *belt*. Posisi plat mengelilingi atau mengunci motor untuk mengurangi getaran yang terjadi akibat gerakan motor. Pengukurannya dengan membandingkan gaya yang diberikan dengan waktu. Pengolahan sinyal menggunakan FFT (*Fast Fourier Transform*).

Al-Tae Mohammed T. S. (2007) melakukan penelitian tentang *Rotating Discs Balancing*. Parameter penelitian menggunakan *plastic disc* yang langsung dihubungkan dengan motor listrik. Eksperimen yang dilakukan untuk mencari keseimbangan *plastic disc* pada kecepatan tinggi. Untuk proses *balancing*-nya dilakukan dengan cara melubangi *plastic disc*. Pengukuran yang dilakukan adalah mengukur nilai amplitudo yang ditampilkan dengan grafik.

Abidin dan Arstianti (2008) melakukan penelitian tentang Pemodelan, Pengujian, dan Analisis Getaran Torsional dari Perangkat Uji Sistem Poros-Rotor. Parameter penelitian diawali dengan disain menggunakan *Autodesk Inventor 11 Professional* kemudian ditransfer menjadi metode elemen hingga dengan bantuan *ANSYS Workbench 11*. Kopling yang digunakan adalah kopling cakar dan kopling selang. Data pokok diambil menggunakan dua sensor *encoder* inkremental yang dipasang di kedua ujung poros dan *Tachometer* berfungsi untuk mengukur kecepatan putar sistem poros-rotor yang bekerja secara optik. Metode yang

digunakan adalah membandingkan pengolahan sinyal FRF (*Frequency Response Functions*) dengan FEM (*Finite Element Metode*) pemodelan menggunakan *Matlab 7.0*.

Sianipar H.R.J (2008) melakukan penelitian tentang getaran pada bantalan gelinding tanpa pelumasan dan mengalami *misalignment*. Parameter, mengamati frekuensi dari bantalan yang disebabkan karat, program pengukuran akan menampilkan domain waktu, domain frekuensi, dan tingkat getaran keseluruhan. Tampilan menggunakan *labVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench)*.

Morgana Cahaya (2009) melakukan penelitian tentang pengukuran getaran vertikal menggunakan sensor *effect hall*. Parameter penelitian getaran yang diukur adalah getaran vertikal (lateral) akibat putaran tak seimbang. Pemrograman menggunakan *CV-AVR (Code Vision AVR)* dan *interface* dengan *Personal Computer (PC)* menggunakan *Delphi 7.0* dengan keluaran grafik. Keluaran atau nilai yang terdapat pada grafik adalah perbandingan amplitudo dan waktu.

2.2 Getaran

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). Umumnya getaran terjadi akibat ketidakseimbangan (*unbalance*), cacat pada elemen, dan ketidaksempurnaan fungsi mesin.

Berdasarkan modus getarnya, getaran yang terjadi pada mesin-mesin rotasi dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis, yaitu getaran lateral (radial), getaran aksial, dan getaran torsional. Ketiga jenis getaran ini memiliki parameter dan karakteristik dinamik yang mirip.

Getaran lateral ditimbulkan akibat ketidakseimbangan, cacat bantalan, dan *misalignment*. Getaran aksial juga terjadi akibat fluktuasi gaya antara lain disebabkan oleh kecepatan aliran fluida yang tidak konstan, sedangkan getaran torsional terjadi akibat adanya fluktuasi torsi, baik torsi penggerak maupun torsi beban. Contoh penyebab getaran torsional adalah kesalahan profil roda gigi,

adanya fluktuasi torsi yang ditimbulkan oleh motor induksi saat proses *start up*, atau putusya salah satu rotor bar pada motor listrik.

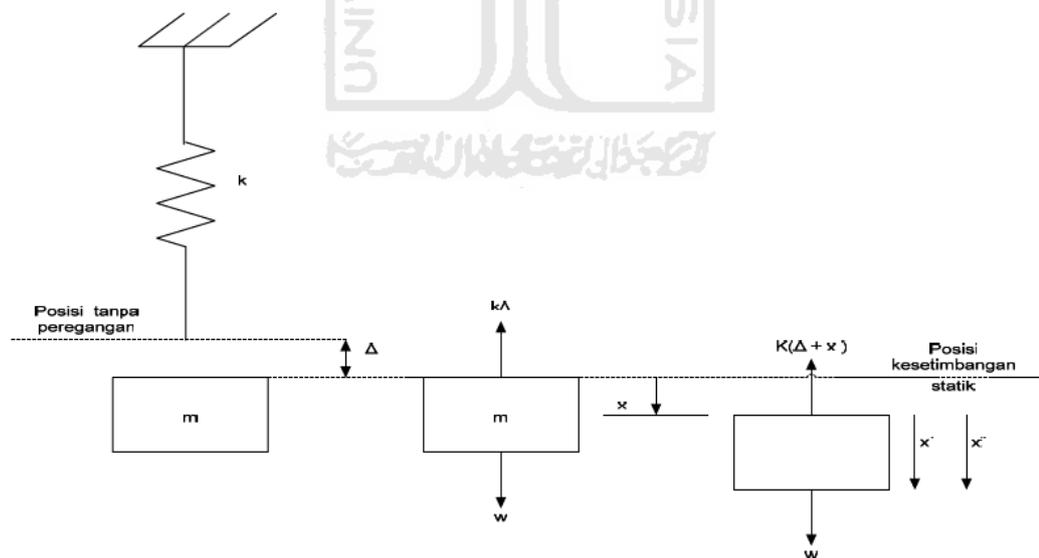
Dalam pemodelan rotor secara matematik, dianggap bahwa getaran terjadi secara linier dan tidak terjadi interaksi antara getaran-getaran tersebut. Namun dalam praktek sering ditemui getaran menjadi tidak linier dan terjadi interaksi antara ketiga jenis getaran tersebut. Fenomena interaksi ini dinamakan *cross coupling*.

2.2.1 Jenis-jenis Getaran

Berdasarkan arah gayanya, getaran dibagi menjadi tiga, getaran lateral, getaran aksial, dan getaran torsional.

A. Getaran Lateral

Getaran lateral merupakan getaran yang terjadi pada bidang yang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal dari poros. Getaran lateral menyebabkan *bending* pada poros. Model sederhana dari getaran lateral pada suatu poros yang berputar diperlihatkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Model Getaran Lateral (Moblely R. Keith, 1999)

Persamaan kesetimbangan gaya untuk sistem getaran sederhana yang digambarkan pada Gambar 2.1 adalah sebagai berikut :

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t) \quad (2.1)$$

$m\ddot{x}$ adalah gaya inersia

$c\dot{x}$ adalah gaya peredaman

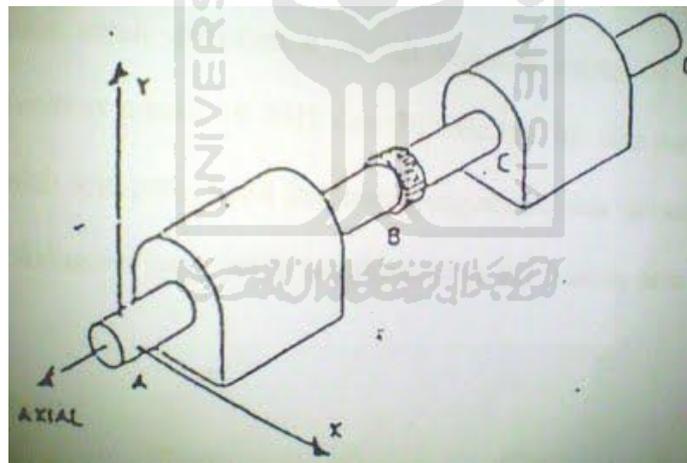
kx adalah gaya pegas

$f(t)$ adalah gaya eksitasi luar

Persamaan (2.1) di atas adalah persamaan gerak diferensial linear orde dua dengan koefisien yang konstan. Terdapat empat parameter dinamik yang digunakan untuk menganalisis getaran lateral, yaitu gaya, massa, redaman lateral dan kekakuan lateral.

B. Getaran Aksial

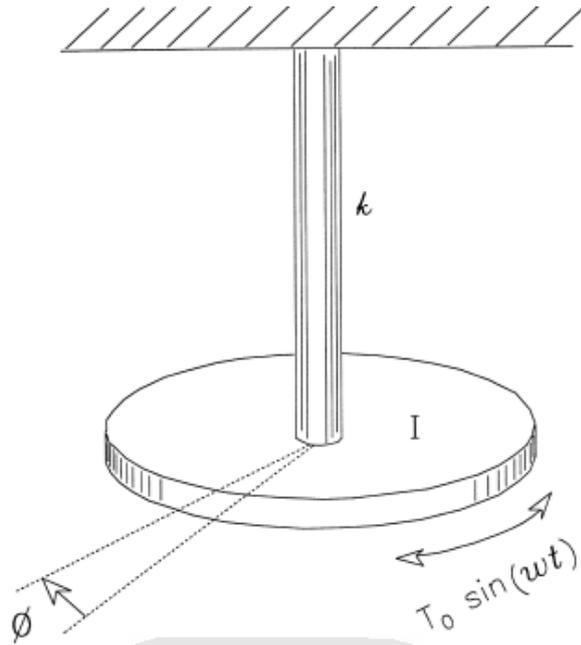
Getaran aksial merupakan getaran yang terjadi arah x, y, maupun z. Getaran aksial terjadi pada bidang yang arahnya searah dengan sumbu longitudinal poros seperti dijelaskan pada Gambar 2.2. Getaran aksial biasanya terjadi pada mesin *freis*, bor, dan mesin-mesin *turning* dan *milling*.



Gambar 2.2 Model Getaran Aksial (Mobley R. Keith, 1999)

C. Getaran Torsional

Getaran torsional terjadi jika suatu poros terpuntir terhadap sumbu putarnya kemudian dilepas. Hal ini akan menyebabkan terjadinya fluktuasi kecepatan putar dari poros. Model sederhana dari sistem getaran torsional diperlihatkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Model Getaran Torsional (Moblely R. Keith, 1999)

Persamaan kesetimbangan torsi untuk sistem getaran yang digambarkan pada Gambar 2.3 adalah sebagai berikut :

$$T = J\ddot{\theta} + C_t\dot{\theta} + K_t\theta \quad (2.2)$$

J adalah momen inersia

c_t adalah konstanta redaman

k_t adalah kekakuan pegas

θ_t adalah perubahan sudut

T adalah torsi

2.2.2 Parameter Dinamik

Terdapat empat parameter dinamik yang digunakan untuk menganalisa getaran torsional, yaitu :

- 1) Torsi, puntiran yang terjadi pada suatu poros apabila poros tersebut dibebani oleh suatu gaya pada suatu jarak tertentu dari sumbu rotasi sehingga cenderung menghasilkan rotasi.
- 2) Momen Inersia Penampang, penjumlahan massa elemental di seluruh penampang dikalikan dengan jaraknya terhadap sumbu putar.
- 3) Redaman Torsional, gesekan antar molekul dalam material. Unit (satuan) dari redaman torsional adalah $\frac{Nms}{rad}$

- 4) Kekakuan Torsional, besar torsi yang diperlukan untuk menghasilkan suatu sudut puntir.

2.2.3 Analogi Getaran Lateral dengan Getaran Torsional

Persamaan gerak untuk getaran lateral dan getaran torsional adalah sebagai berikut :

$$F = ma \quad (2.3)$$

$$T = J\alpha \quad (2.4)$$

Perbandingan kedua persamaan di atas memperlihatkan bahwa keduanya memiliki bentuk persamaan yang hampir mirip. Setiap variabel yang menempati letak yang sama disebut kuantitas analog. Kuantitas analog dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Parameter Getaran

Parameter	Getaran Lateral	Getaran Torsional
Perpindahan	$x \text{ (mm)}$	$\theta \text{ (derajat)}$
Kecepatan	$\dot{x} \left(\frac{\text{mm}}{\text{s}}\right)$	$\dot{\theta} \text{ (derajat)}$
Percepatan	$\ddot{x} \left(\frac{\text{mm}}{\text{s}^2}\right)$	$\ddot{\theta} \text{ (derajat)}$
Gaya/Torsi	$F \text{ (N)}$	$T \text{ (N.m)}$
Massa/ Momen Inersia	$M \text{ (Kg)}$	$J \text{ (kg.m}^2\text{)}$
Redaman	$C \left(\frac{\text{Ns}}{\text{m}}\right)$	$C_\tau \left(\frac{\text{Nms}}{\text{rad}}\right)$
Kekakuan	$K \left(\frac{\text{N}}{\text{m}}\right)$	$K \left(\frac{\text{Nm}}{\text{rad}}\right)$

Sumber : Seto William W

Dengan analogi di atas, maka dapat diperoleh persamaan difrensial sebagai berikut :

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t) \quad (2.5)$$

$$T = J\ddot{\theta} + C_\tau\dot{\theta} + K_\tau\theta \quad (2.6)$$

2.3 Pengukuran Teknik

Di dalam pengukuran dibutuhkan instrumen sebagai suatu cara fisis untuk menentukan suatu besaran (kuantitas) atau variabel. Instrumen tersebut membantu peningkatan keterampilan manusia, dan dalam banyak hal memungkinkan seseorang untuk menentukan nilai dari suatu besaran yang tidak diketahui. Tanpa bantuan instrumen manusia tidak dapat menentukannya. Dengan demikian sebuah instrumen tersebut didefinisikan sebagai sebuah alat yang digunakan untuk menentukan nilai atau besaran dari suatu kuantitas atau variabel (Cooper William D., 1985).

Berdasarkan latar belakang penggunaan instrumen pengukuran, dibagi menjadi tiga kelompok yaitu:

- Pemantauan proses dan operasi (*monitoring of processes and operation*), peralatan ini digunakan oleh lembaga cuaca untuk mengawasi kondisi lingkungan seperti suhu, kelembaban udara, dan kecepatan angin.
- Pengendalian proses dan operasi (*control of processes and operation*), instrumen bertindak sebagai komponen sistem pengendalian otomatis.
- Analisa keteknikan eksperimental (*experimental engineering analysis*), instrumen digunakan untuk membandingkan pengetahuan baru dengan teori yang sudah ada.

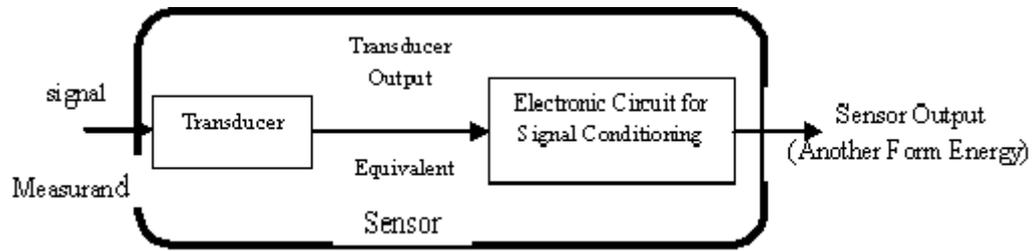
2.3.1 Elemen Pengukur Getaran

Dalam pengukuran getaran terdapat beberapa elemen untuk mengukur getaran diantaranya :

A. Sensor dan Transduser

Sensor dan transduser mempunyai beberapa persamaan, namun berbeda konsep. Transduser merupakan salah satu elemen fisik dari sensor, transduser adalah elemen penting dari sensor. Sensor yang sensitive terdiri dari transduser sebagai input sinyal dan beberapa pengkondisi sinyal (*signal conditioning*) yang mampu menguatkan dan menyaring sinyal masukan dari transduser yang lemah dan tidak sesuai harapan (Premchan Mahalik, 2004). Biasanya pengkondisi sinyal

menggunakan penguat, filter, converter analog (ADC) dan sebagainya. Gambaran sederhana mengenai sensor dan sinyal masukan dijelaskan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Sensor (Premchan Mahalik, 2004)

1. Sensor

Sensor adalah sebuah alat yang dapat memberikan informasi yang dibutuhkan dalam proses operasi dari sebuah mekanisme (Lab. Mekatronika UII, 2007). Ada beberapa sensor sesuai dengan kegunaannya masing-masing, diantaranya: sensor *photoelectric*, sensor *inductive*, sensor *capacitive*, sensor *ultrasonic*, sensor *magnetic*, dan sensor *limit switch*.

2. Transduser

Transduser adalah sebuah alat yang bila digerakan oleh suatu energi di dalam sebuah sistem transmisi, akan menyalurkan energi tersebut dalam bentuk yang sama atau dalam bentuk yang berlainan ke sistem transmisi berikutnya. Transmisi energi ini bisa berupa listrik, mekanik, kimia, *optic* (radiasi) atau *thermal* (panas). (Cooper William D., 1985).

Berdasarkan sumber energinya transduser diklasifikasikan sebagai berikut:

- 1) *Self generating transducer* (transduser pembangkit sendiri), transduser yang hanya memerlukan satu sumber energi. Ciri transduser ini adalah dihasilkannya suatu energi listrik dari transduser secara langsung. Dalam hal ini transduser berperan sebagai sumber tegangan Contoh transduser aktif termokopel dan akselerometer *piezoelektrik*..
- 2) *External power transducer* (transduser daya dari luar), transduser yang memerlukan energi dari luar untuk menghasilkan suatu keluaran. Transduser Pasif menghasilkan perubahan kuantitas listrik pasif, seperti

kapasitansi, resistansi, atau induktansi, sebagai akibat dari stimulasi. contohnya RTD (*resistance thermal detector*), *Staringauge*, LVDT (*linier variable differential transformer*), Potensiometer, NTC, dan sebgainya.

Berdasarkan karakteristiknya, transduser dibagi menjadi tiga :

1) Karakteristik Statis.

Karakteristik statis adalah hubungan dalam keadaan setimbang antara besaran fisik input dan output elektrik. Karakteristik statis terdiri dari :

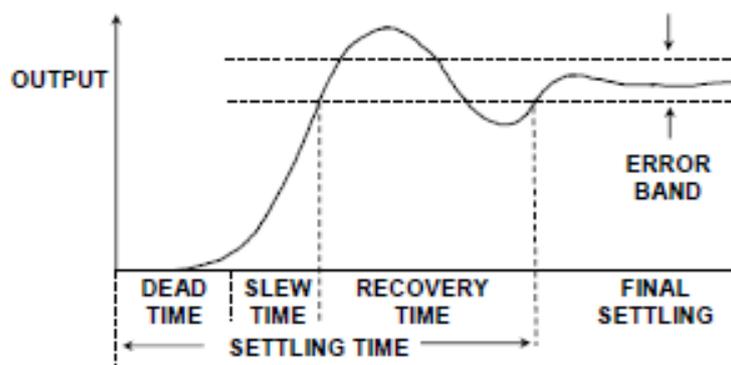
- *Accuracy*, adalah perbedaan antara keluaran yang dihasilkan dan keluaran aktual.
- *Resolusi*, adalah perubahan input yang paling kecil yang masih bisa dideteksi oleh transduser.
- *Repeatability*, adalah kemampuan transduser untuk menghasilkan output yang sama pada pengukuran yang sama berulang kali.
- *Hysteresis*, adalah perbedaan antara kalibrasi dengan cara naik dengan kalibrasi dengan cara turun.
- *Linearity*, adalah linieritas output dari transduser.
- *Conformance*, adalah perbedaan antara kurva hasil kalibrasi dengan suatu kurva linier.
- *Sensitivity*, adalah perbandingan perubahan output dengan nilai perubahan dari pengukuran.

2) Karakteristik Dinamis.

Karakteristik dinamis adalah seberapa cepat suatu output berubah ketika mendapat perubahan pada input. Karakteristik dinamis terdiri dari :

- *Rise time*, adalah waktu yang dibutuhkan agar dapat mencapai 10 % hingga 90 % dari respon seluruhnya.
- *Time constant*, adalah waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 63.2% dari harga maksimum.
- *Dead time*, adalah perbedaan waktu antara input dan output.
- *Settling time*, adalah waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kurang lebih 2% dari nilai steady state.

Karakteristik dinamis dijelaskan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Karakteristik Sinyal terhadap Waktu (Cooper William D., 1985)

3) Karakteristik lingkungan

Karakteristik lingkungan adalah performa dari suatu transduser, baik ketika beroperasi maupun tidak, terhadap kondisi external. Misalnya suhu, tekanan, getaran, kecepatan, dan lain-lain.

Prinsip kerja dan pemakaian transduser berdasarkan sifat kelistrikannya dijelaskan pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Transduser Pasif

Parameter listrik dan kelas transduser	Prinsip kerja dan sifat alat	Pemakaian alat
Potensiometer	Perubahan nilai tahanan karena posisi kontak bergeser	Tekanan, pergeseran (posisi)
Strain gage	Perubahan nilai tahanan akibat perubahan panjang kawat oleh tekanan dari luar	Gaya, torsi, posisi
Transformator selisih (LVDT)	Tegangan selisih dua kumparan primer akibat pergeseran inti trafo	Tekanan, gaya, pergeseran
Gage arus pusar	Perubahan induktansi kumparan akibat perubahan jarak plat	Pergeseran, ketebalan

Sumber: Cooper William D., (1985)

Tabel 2. 3 Transduser Aktif

Parameter listrik dan kelas transduser	Prinsip kerja dan sifat alat	Pemakaian alat
Sel fotoemisif	Emisi elektron akibat radiasi yang masuk pada permukaan fotemisif	Cahaya dan radiasi
Photomultiplier	Emisi elektron sekunder akibat radiasi yang masuk ke katoda sensitif cahaya	Cahaya, radiasi dan relay sensitif cahaya
Termokopel	Pembangkitan ggl pada titik sambung dua logam yang berbeda akibat dipanasi	Temperatur, aliran panas, radiasi
Generator kumparan putar (tachogenerator)	Perputaran sebuah kumparan di dalam medan magnet yang membangkitkan tegangan	Kecepatan, getaran
Piezoelektrik	Pembangkitan ggl bahan kristal piezo akibat gaya dari luar	Suara, getaran, percepatan, tekanan
Sel foto tegangan	Terbangkitnya tegangan pada sel foto akibat rangsangan energi dari luar	Cahaya matahari
Termometer tahanan (RTD)	Perubahan nilai tahanan kawat akibat perubahan temperatur	Temperatur, panas
Hygrometer tahanan	Tahanan sebuah strip konduktif berubah terhadap kandungan uap air	Kelembaban relatif
Termistor (NTC)	Penurunan nilai tahanan logam akibat kenaikan temperatur	Temperatur
Mikropon kapasitor	Tekanan suara mengubah nilai kapasitansi dua buah plat	Suara, musik, derau
Pengukuran reluktansi	Reluktansi rangkaian magnetik diubah dengan mengubah posisi inti besi sebuah kumparan	Tekanan, pergeseran, getaran, posisi

Sumber: Cooper William D., (1985)

Dari tabel 2.2 dan tabel 2.3 diatas, dapat disimpulkan transduser getaran memiliki karakteristik berbeda-beda diantaranya:

- 1) Berdasarkan jenis sinyal getaran yaitu:
 - Transduser penyimpangan getaran (*displacement transducer*),
 - Transduser kecepatan getaran (*velocity transducer*), dan
 - Transduser percepatan getaran (*accelerometer*).
- 2) Berdasarkan keperluan pemantauan sinyal getaran jenis yaitu:
 - Sinyal getaran,
 - Rentang frekuensi pengukuran,
 - Ukuran dan berat objek getaran, dan
 - Sensitivitas transduser.
- 3) Berdasarkan cara kerjanya sensor yaitu:
 - Transduser aktif, sensor yang langsung menghasilkan tegangan listrik tanpa perlu catu daya (*power supply*) dari luar, misalnya *Velocity Transducer*, dan
 - Transduser pasif, sensor yang memerlukan catu daya dari luar agar dapat berkerja. Transduser ini dapat menghasilkan perubahan nilai resistansi, kapasitansi, atau induksi apabila mengalami perubahan kondisi sekeliling.

- **Transduser Perpindahan (displacement Transducer)**

Transduser perpindahan merupakan sebuah transduser yang digunakan untuk:

- Mengukur perpindahan linier
- Mengukur perpindahan sudut (angular)
- Mendeteksi gerakan
- Mendeteksi keberadaan suatu objek (*proximity*)

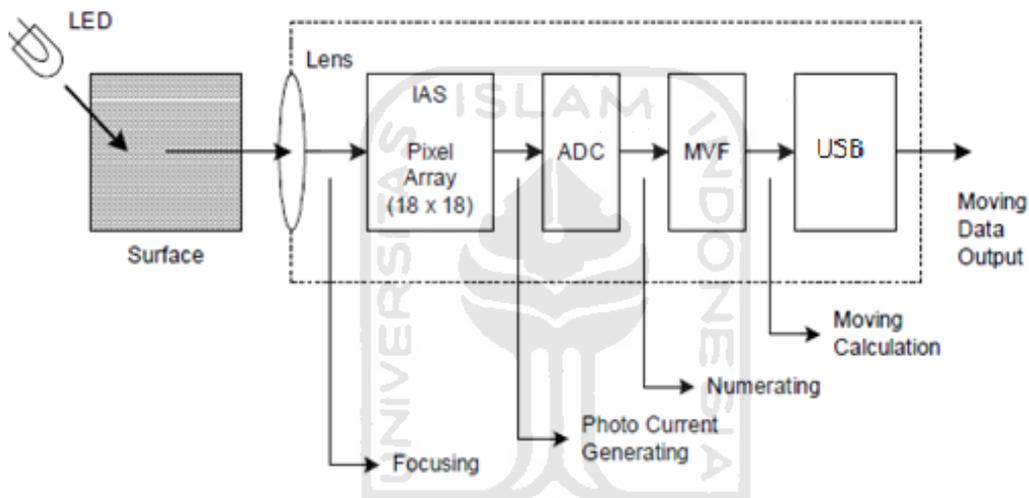
Transduser perpindahan dikelompokkan menjadi dua yaitu sensor perpindahan kontak dan nonkontak. Contoh transduser perpindahan yaitu potensiometer, *strain gauge*, LVDT, elemen kapasitif, moiré fringer, optis, saklar mekanis, saklar kapasitif, dan encoder optis (W Bolton., 2006).

- **Transduser Posisi Optis**

Sensor menggunakan cahaya sebagai inputnya, LED (*light emitting diode*) digunakan sebagai indikator perubahan posisi yang dilanjutkan oleh phototransistor sebagai input.

- Metode yang digunakan tipe transmisif dimana objek yang dideteksi memotong berkas cahaya.
- Metode reflektif, objek mendeteksi dengan memantulkan cahaya ke detektor biasanya menggunakan cahaya inframerah.

Transduser piroelektrik menghasilkan sinyal tegangan bila radiasi inframerah yang mengenainya berubah (Gambar 2.6).

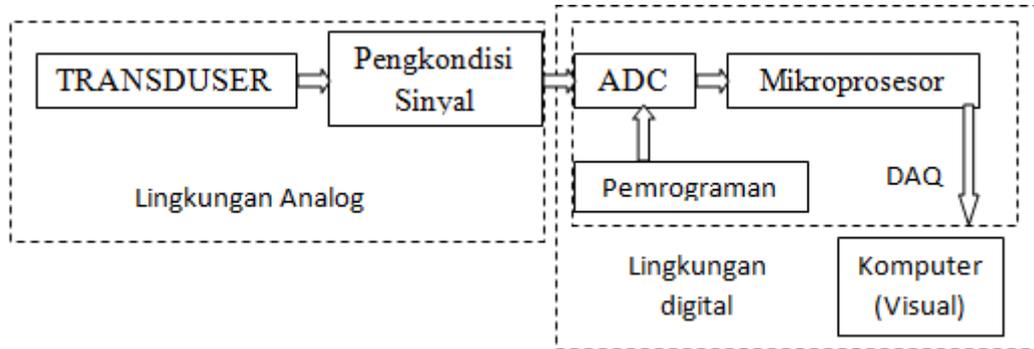


Gambar 2. 6 Pengolahan Sinyal (Elan Micoelectronic, 2009)

2.3.2. Akusisi Data

Akusisi data digunakan sebagai alat untuk memperoleh data yang mempunyai kaitan erat dengan proses pengukuran. Suatu cara untuk menggambarkan hasil pengamatan dengan sajian nilai peubah yang mendekati nilai sebenarnya. Sistem akusisi data adalah sistem yang dirancang untuk membaca atau mengambil data, mengumpulkan data, dan menyajikannya data. Sistem akuisisi data (*data acquisition system*), secara aktual berupa *interface* antara lingkungan analog dengan lingkungan digital. Lingkungan analog meliputi transduser dan pengkondisi sinyal (*signal conditionong*) dngan segala kelengkapannya, sedangkan lingkungan digital meliputi *Analog to Digital*

Converter (ADC), *digital processing* atau *command* unit yang dilakukan oleh mikroprosesor atau sistem berbasis mikroprosesor dan komputer. Struktur sistem akuisisi data secara sederhana dijelaskan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Sistem Akuisisi Data

2.3.3. LabVIEW

Penggunaan komputer dalam proses pengambilan data memberikan banyak keuntungan, antara lain :

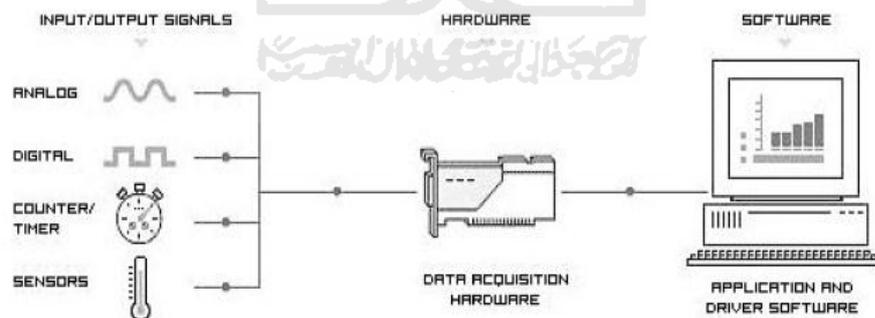
- 1) Perangkat analog yang kompleks dan menghabiskan banyak tempat dapat digantikan oleh satu unit komputer.
- 2) Data dapat disimpan dalam bentuk file dengan format yang dikenali komputer sehingga mempermudah proses dokumentasi.
- 3) Jika sewaktu-waktu ada perubahan dalam proses pengolahan dan tampilan data, maka akan dengan mudah hal tersebut dapat dilakukan dengan mengubah program yang dibangun di dalam komputer.

Saat ini terdapat beberapa pilihan aplikasi program pembangun (*program development application*) yang ditawarkan di pasaran dan dapat bekerja dibawah aplikasi *windows*, seperti *Visual Basic*, *Visual C++*, *Borland Delphi*, *Matlab* dan lain-lain. Aplikasi program pembangun yang telah disebutkan diatas disebut sebagai *text-based language programming* karena dalam pemrogramannya kode-kode dituliskan dalam *text*. Tetapi saat ini telah dibangun bentuk pemrograman generasi baru yang dikembangkan oleh perusahaan instrumentasi *National Instrument* yaitu *LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench)*. Perangkat lunak ini tidak menggunakan *text-based*

programming language tetapi *graphical programming language (G language)*. Hal ini menjadikan LabVIEW menjadi pilihan yang tepat untuk digunakan sebagai aplikasi program pembangun dibidang instrumentasi karena beberapa keuntungannya antara lain :

- 1) Sangat cocok digunakan oleh praktisi di bidang instrumentasi yang kurang mempunyai latar belakang *programming*.
- 2) Tidak menggunakan *text* dalam baris-baris yang kompleks sehingga mempermudah ketika akan mengevaluasi program yang telah dibangun.
- 3) LabVIEW sudah menyediakan *library* yang berisi fungsi dan subrutin yang akan sangat membantu dalam pembangunan program sehingga akan mempersingkat waktu dan mempermudah pembangunan program.

Rangkaian proses komunikasi data pada Labview terdiri dari perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*). Perangkat lunak (*software*) berupa LabVIEW *programming* yang diinstal pada komputer. Perangkat keras (*hardware*) yaitu transduser, pengkondisi sinyal, DAQ (*data acquisition*), dan komputer. Rangkaian perangkat keras untuk komunikasi data dijelaskan pada Gambar 2.8 berikut.

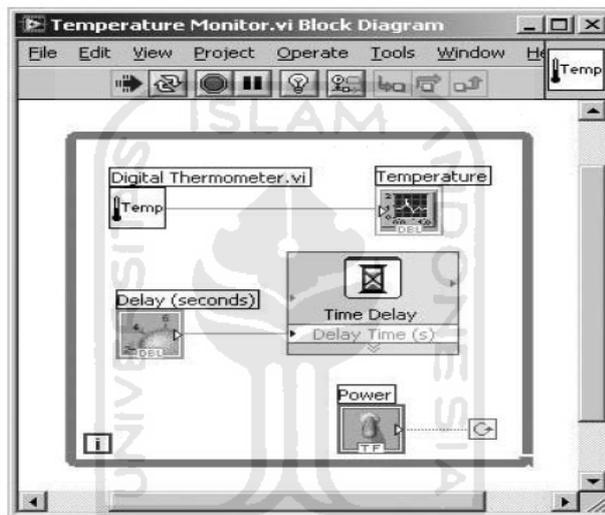


Gambar 2.8 Komunikasi Data (Travis dan Kring, 2006)

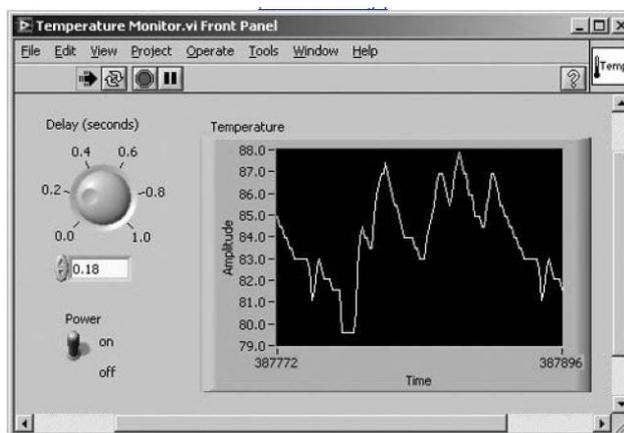
LabVIEW bisa dijalankan pada beberapa sistem operasi komputer, seperti Windows, Mac OS X, Linux, Palm OS, beberapa program *embedded system*, *Field Programmable Gate Arrays (FPGAs)*, *Digital Signal Processor (DSPs)*, atau mikroprosesor. Dibandingkan dengan jenis pemrograman lain, LabVIEW memiliki beberapa kelebihan karena memiliki kontrol instrumen serial, *interface Bus*, dan komunikasi dengan internet. LabVIEW merupakan komponen

instrumentasi standar yang fleksibel. Aplikasi LabVIEW sudah digunakan untuk mengontrol proses biologi, kimia, fisika, psikologi, farmasi, dan sebagainya. Beberapa analisa yang menggunakan LabVIEW yaitu aljabar linier, statistik, *signal processing*, dan aritmatika.

Dalam pemrograman LabVIEW, tampilan pemrograman terdapat dua bagian sekaligus. Bagian tersebut meliputi bagian *data flow* dan bagian keluaran program. Bagian *data flow* terdiri dari beberapa simbol, *wiring* dan kontrol yang diperlukan seperti Gambar 2.9. Bagian keluaran meliputi keluaran yang kita inginkan seperti grafik, nilai digital, lampu indikator, dan beberapa panel yang dibutuhkan pada visual seperti Gambar 2.10.



Gambar 2.9 *Data Flow LabVIEW* (Travis dan Kring, 2006)



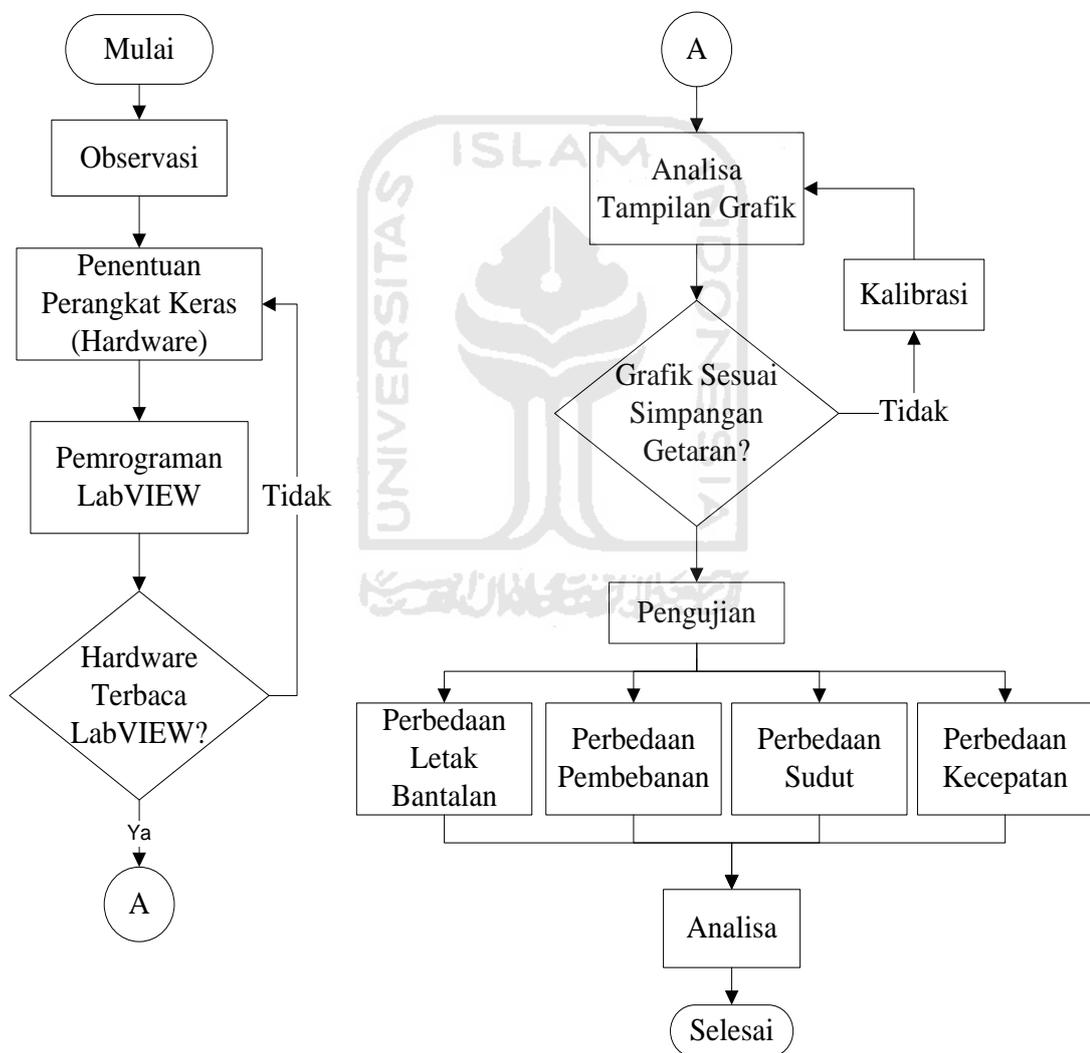
Gambar 2.10 Keluaran *Graphic Interface* (Travis dan Kring, 2006)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Urutan Penelitian

Dalam melakukan penelitian terdapat beberapa tahap, mulai dari observasi, penentuan objek sampai penelitian selesai. Tahap-tahap tersebut tersusun seperti dijelaskan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

Dalam melakukan penelitian, terdiri dari beberapa tahap pengerjaan diantaranya:

1. Observasi, merupakan tahap awal penelitian untuk mencari bahan atau dasar-dasar dilakukannya penelitian. Penelitian tidak akan berjalan dengan baik apabila tidak didasari oleh sumber yang kuat. Observasi ini meliputi *study literatur* atau tinjauan pustaka, perbandingan dengan penelitian sebelumnya, survey alat dan bahan, dan sarana pendukung lainnya.
2. Penentuan perangkat keras, merupakan tahap penting dalam memulai penelitian. Pada tahap ini, diperlukan suatu perangkat akuisisi data untuk menentukan hasil yang diinginkan. *Output* atau hasil yang ingin dicapai ditentukan pada tahap ini.
3. Pemrograman, pemrograman adalah suatu penghubung antara bahasa manusia dengan bahasa komputer. Pemrograman diperlukan pada semua hal yang berhubungan dengan otomasi. Tahap ini merupakan tahap penerjemah parameter-parameter penelitian yang dilakukan
4. Antarmuka (*interface*) komputer, tahap ini sebagai penghubung antara transduser dengan hasil yang didapat. Hasil yang diterima oleh transduser ditampilkan oleh komputer melalui antarmuka. Tahap ini memudahkan dalam membaca hasil yang didapat oleh transduser. Tahap ini juga sebagai penentu bekerja tidaknya pemrograman.
5. Pengukuran getaran, tahap ini merupakan tahap penyempurnaan piranti akuisisi data. Bila data hasil belum sesuai, maka kalibrasi alat sangat penting untuk dilakukan. Data yang dibandingkan dari hasil pengukuran, teori, dan pembanding.
6. Pengujian, tahap ini merupakan tahap akhir penelitian. Tahap ini menentukan sesuai tidaknya hasil pengukuran oleh transduser dan pengukuran secara teori. Tahap ini menerjemahkan kelebihan dan kekurangan hasil penelitian yang dilakukan. Parameter yang digunakan yaitu perbedaan letak bantalan, perbedaan pembebanan, perbedaan sudut, dan perbedaan kecepatan rotor.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah:

- Notebook Dell Vostro 1200
- Software Labview 8.2
- Transduser Perpindahan Optik
- Penyangga Transduser
- Peralatan Perkakas

Bahan yang digunakan:

- Alat Uji *Rotary Balancing*

3.3 Perangkat Keras

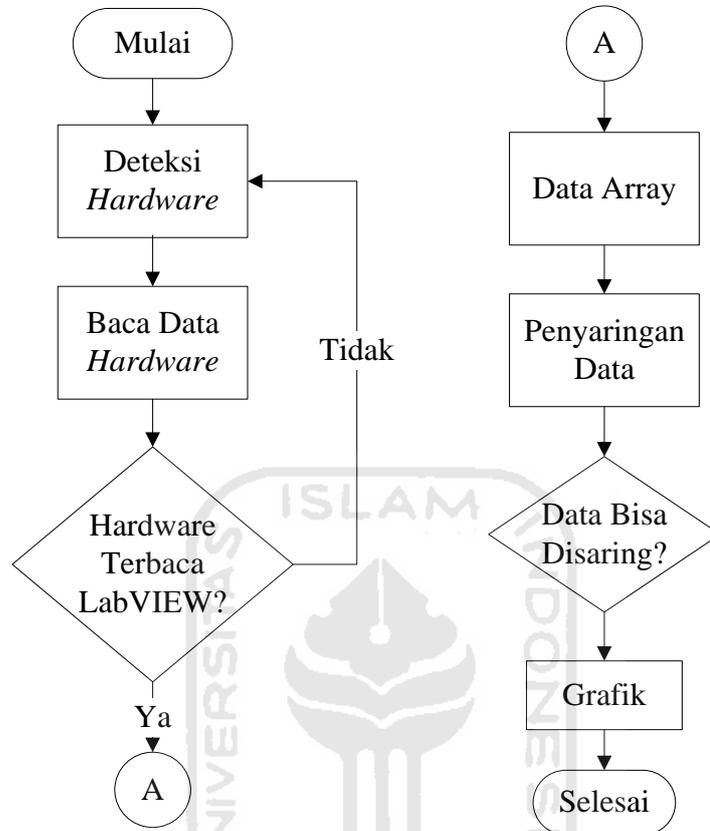
Perangkat keras digunakan sebagai penghubung (*transmitter*) antara hasil yang didapat dengan data yang ditampilkan oleh komputer. Pemilihan perangkat keras disesuaikan dengan tampilan dan jenis akuisisi data yang diinginkan. Perangkat keras tersebut meliputi sensor, pengkondisi sinyal, pengolah sinyal, dan port akuisisi data.

Dalam pengukuran getaran, terdapat tiga jenis transduser yang sering digunakan yaitu akselerometer, *velocitymeter*, dan *displacement* transduser. Dari ketiga transduser tersebut masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan. Berdasar fungsi yang akan dimanfaatkan, maka dipilih *diplacement* transduser karena masih sedikit yang menggunakan. Selain itu, transduser perpindahan (*displacement*) jarang digunakan untuk pengukuran getaran. Transduser yang digunakan adalah OM30. OM30 merupakan sensor karena transduser dan pengkondisi sinyal terdapat di dalamnya. OM30 difasilitasi port USB sebagai komunikasi dengan komputer. Data yang terbaca oleh transduser dikirim langsung ke komputer melalui port USB.

3.4 Perangkat Lunak

Perangkat lunak (pemrograman) yang digunakan adalah LabVIEW 8.2. Pemrograman ini menggunakan *data flow diagram* yang memudahkan dalam pembacaan alur program dan tampilan yang diinginkan. Pada pemrograman

LabVIEW, terdapat dua bagian yaitu *front panel* dan *block diagram*. Urutan pemrograman dijelaskan Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Program

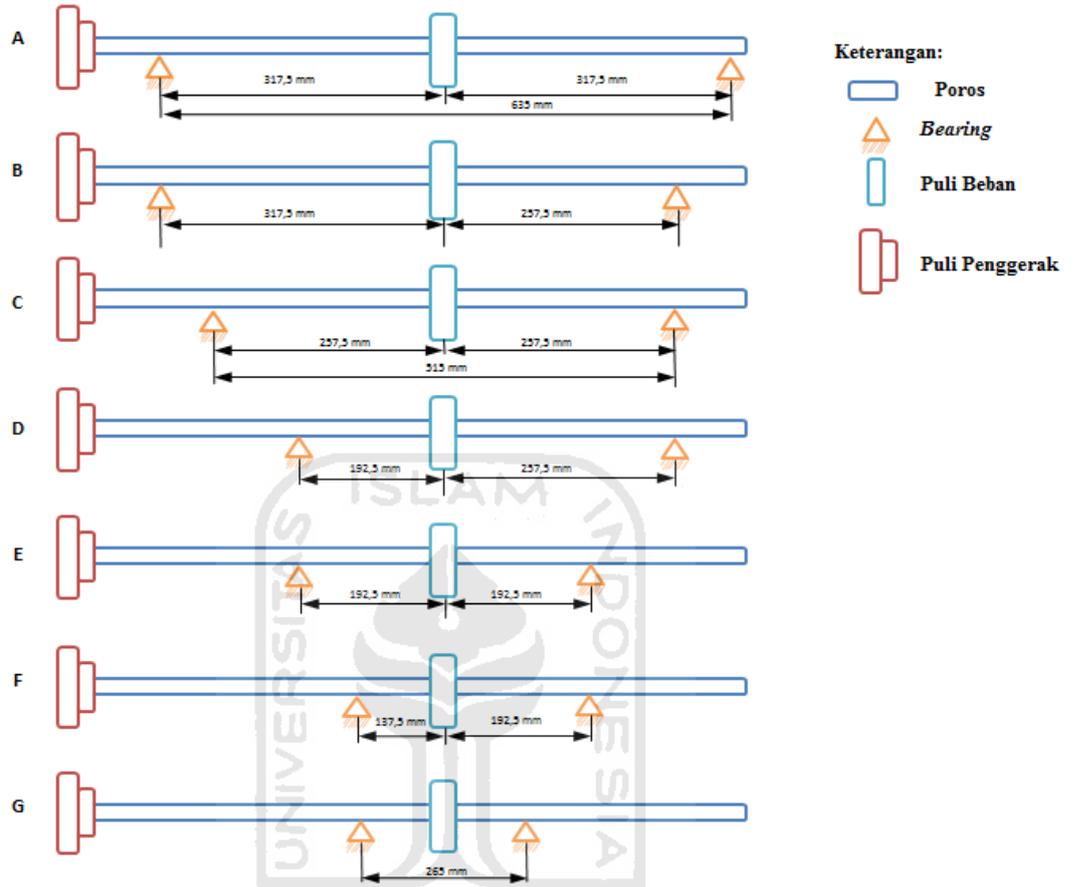
Dari Gambar 3.2 dapat diketahui urutan program yang dibuat menggunakan *software LabVIEW*. Hal terpenting dari program adalah komunikasi data dan penyaringan data untuk menghasilkan grafik yang diinginkan.

3.5 Metode Pengujian

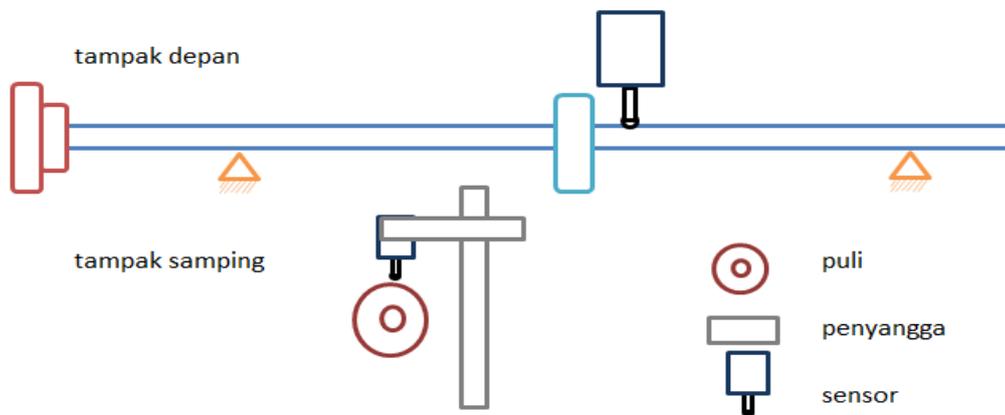
Proses pengujian dilakukan menggunakan parameter perbedaan letak bantalan, perbedaan pembebanan, perbedaan sudut pembebanan, dan perbedaan kecepatan.

3.5.1 Pengujian Perbedaan Letak Bantalan

Parameter-parameter pengujian getaran dilakukan berdasarkan perbedaan letak *bearing* atau tumpuan poros pada alat uji diterangkan pada Gambar 3.3.



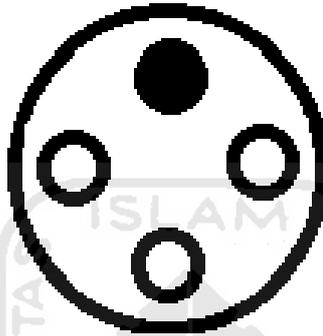
Gambar 3.3 Perbedaan Letak Bantalan



Gambar 3.4 Penyangga dan Letak Sensor

3.5.2 Pengujian Perbedaan Pembebanan

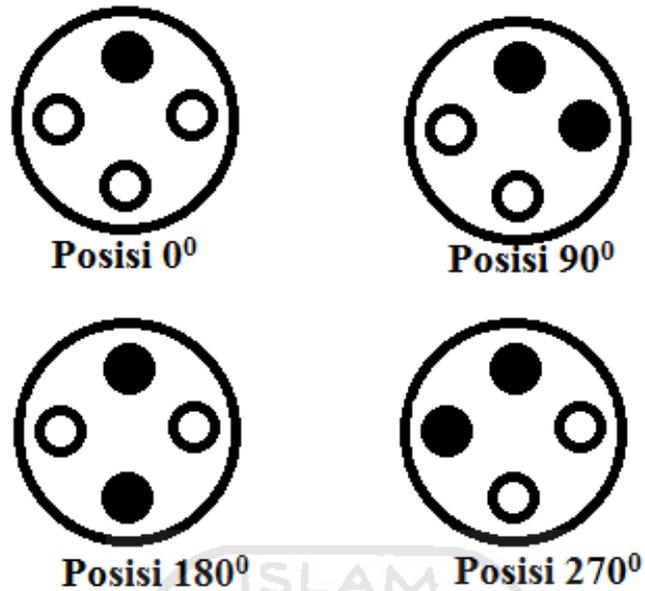
Penyebab getaran, salah satunya akibat ketidak seimbangan. Ketidakseimbangan dipengaruhi oleh pembebanan, sudut pembebanan, dan kecepatan rotor. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui perbandingan amplitudo dan ketidakseimbangan, dilakukan pengujian perbedaan pembebanan. Pengujian berdasarkan perbedaan pembebanan, diterangkan pada Gambar 3.5. Pembebanan dilakukan secara bertahap dengan massa penambahan 0,004 Kg. Pembebanan yang dilakukan adalah 0,024 Kg, 0,028 Kg, 0,032 Kg, dan 0,036 Kg.



Gambar 3. 5 Sketsa Pembebanan

3.5.3 Pengujian Perbedaan Sudut

Parameter yang digunakan untuk mengetahui faktor kesetimbangan dan hubungannya dengan getaran adalah perbedaan sudut. Sudut pembebanan yang terdapat pada puli yaitu 0° , 90° , 180° , dan 270° . Sketsa pengujian Pembebanan dijelaskan pada Gambar 3.6, sudut 0° sebagai acuan dengan beban tetap 0,028 Kg sedangkan variasi sudut lainnya diberi beban 0,024 Kg.



Gambar 3.6 Letak Pembebanan

3.5.4 Pengujian Perbedaan Kecepatan

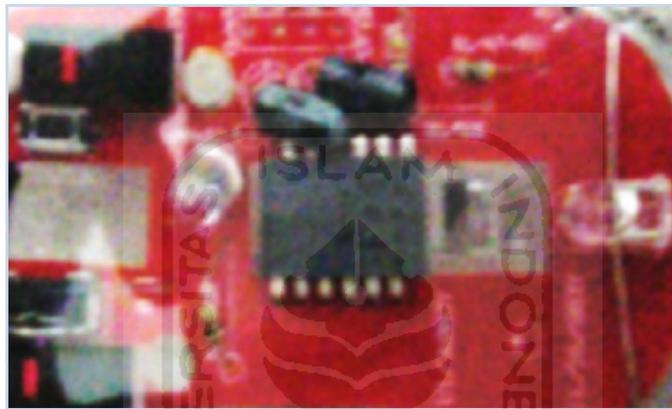
Perbandingan kecepatan dilakukan dengan membandingkan kecepatan rotor alat uji getaran. Perbandingan kecepatan didapat dari perbandingan puli rotor dengan perbandingan 1:3. Kecepatan yang digunakan untuk perbandingan adalah 1450 Rpm dan 483,3 Rpm. Data pembanding yang digunakan untuk perbandingan kecepatan rotor, adalah pengujian pembebanan (Gambar 3.6).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perangkat Keras Instrumentasi Getaran

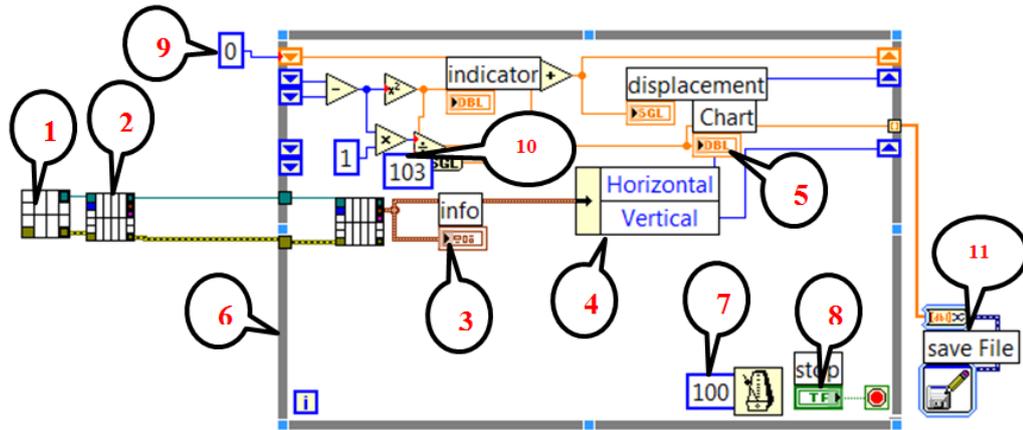
Perangkat keras instrumentasi getaran digunakan sebagai media akuisisi data. Semua pembacaan yang dilakukan transduser perpindahan optik dikirim ke komputer melalui alat tersebut. Rangkaian alat akuisisi data tersebut diterangkan melalui Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Perangkat Akuisisi Data

4.2 Tampilan Perangkat Lunak

Pemrograman yang dibuat hanya menggunakan *LabVIEW 8.2* pada komputer untuk menampilkan grafik pengukuran getaran. Untuk menghubungkan perangkat keras dan perangkat pemrograman, menggunakan aplikasi yang tersedia pada *LabVIEW 8.2*, dimana tersedia panel masukan (*input*) dari perangkat akuisisi data melalui USB. Untuk menghubungkan perangkat akuisisi data dengan *LabVIEW 8.2* dengan mengatur terlebih dahulu panel masukan yang digunakan. Setelah terhubung, maka pemrograman untuk menampilkan data dimulai dengan memanfaatkan panel *acquiring* data (Gambar 4.2).



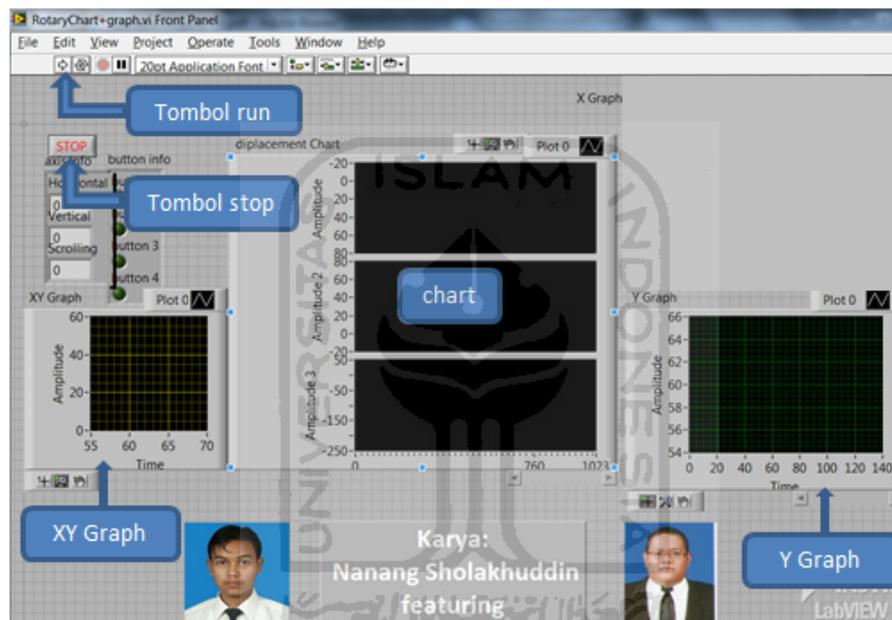
Gambar 4. 2 Program

Keterangan panel-panel yang terdapat pada Gambar 4.2 sebagai berikut:

- Inisialisasi (1), komponen pemrograman yang digunakan untuk mendeteksi perangkat keras yang akan digunakan.
- *Acquiring* (2), piranti masukan untuk membaca ada tidaknya masukan dari perangkat keras.
- Indikator (3), sebagai piranti yang menampilkan jumlah masukan dalam bentuk array.
- Penyaring (4), media penyaring data untuk memilih data yang akan digunakan sebagai hasil pengujian.
- Grafik (5), tampilan hasil pengujian berupa perbandingan amplitudo dengan waktu.
- *Loop* (6), perangkat pemrograman yang digunakan untuk perulangan, sehingga program berjalan terus menerus sampai *loop* dihentikan.
- *Delay* (7), waktu tunggu yang diperlukan untuk perulangan. Waktu tunggu berpengaruh pada hasil pengujian. Waktu optimal yang digunakan pada pengujian antara 0,1 s sampai 0,05 s.
- *Stop* (8), berfungsi menghentikan program dan piranti perulangan (*loop*).
- *Set point* (9), berfungsi untuk mengatur program supaya selalu mulai dari titik nol pada grafik.
- Kalibrasi (10), komponen program yang berfungsi menyesuaikan hasil pengujian dengan hasil teori.

- *Save file* (11), perangkat yang berfungsi menyimpan hasil pengujian pada komputer dalam bentuk *.lvs.

Pemrograman pada komputer dimaksudkan untuk menampilkan grafik pengukuran getaran. Hasil pengukuran getaran bisa disimpan dalam format ‘.bmp’ maupun ‘.lvs’. Tampilan program tersebut diterangkan pada Gambar 4.3. Langkah pertama menggunakan program *LabVIEW* dengan menekan tombol *run* pada tampilan program, maka akan muncul *chart* dan grafik pengukuran. Sedangkan tombol *stop* berfungsi untuk mengakhiri pengukuran getaran.



Gambar 4.3 Tampilan Program Instrumentasi

Keterangan panel-panel yang terdapat pada Gambar 4.3 sebagai berikut:

- Tombol *run*, sebagai indikator dimulainya program, selanjutnya program menampilkan chart dan grafik pengukuran.
- Tombol *stop*, sebagai indikator berakhirnya program dan pengukuran.
- *Chart*, sebagai indikator perubahan yang terjadi akibat getaran.
- *Y Graph*, menampilkan grafik hasil pengukuran yang membandingkan amplitudo dengan waktu.
- *XY Graph*, sebagai tampilan pengujian apabila pengujian dilakukan pada axis X dan Y.

4.3 Pengujian Alat

Pada proses pengujian, yang harus diperhatikan adalah terhindarnya transduser dari rambatan getaran sistem. Pembacaan data oleh transduser yang ditempelkan pada poros alat uji. Hal tersebut diterangkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Rangkaian Pengujian

Gambar 4.4 menjelaskan proses pengambilan data pengujian, dimana terdapat beberapa bagian:

- Penyangga Transduser (1) berfungsi untuk menyangga transduser optik yang digunakan supaya tidak terpengaruh rambatan getaran yang terjadi pada alat uji diterangkan pada Gambar 3.4.
- Transduser Optik (2) berfungsi membaca getaran yang terjadi pada poros alat uji. Data yang dibaca berupa perpindahan poros saat beroperasi.
- *Notebook* (3) berfungsi menampilkan grafik getaran yang terjadi pada poros alat uji.
- *Bearing* (4) berfungsi sebagai tumpuan dan peredam getaran poros alat uji. *Bearing* dijadikan parameter pengujian berdasarkan jarak dari puli pembeban.
- Puli Pembeban (5) berfungsi sebagai pusat massa poros atau titik acuan perpindahan *bearing*.
- Alat Uji Getaran (6)

4.4 Pengujian Getaran

Pengujian getaran dilakukan dengan beberapa parameter pengujian. Hasil pengujian getaran menampilkan grafik perbandingan amplitudo dengan waktu. Grafik yang ditampilkan adalah grafik perbandingan hasil uji dengan teori setiap parameter, grafik pengujian dan perhitungan teori dapat dilihat pada lampiran.

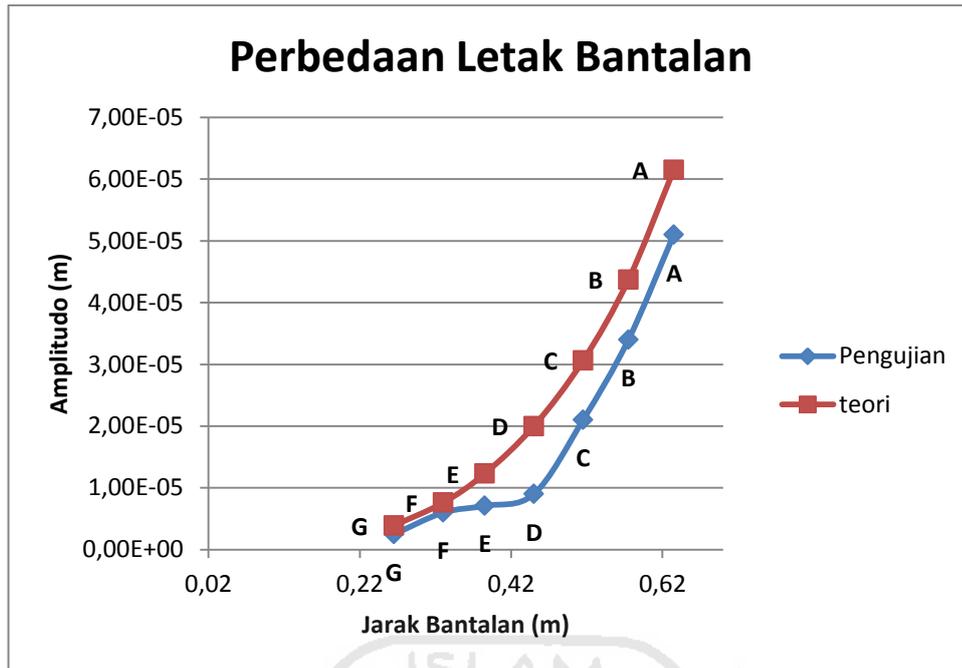
4.4.1 Perbedaan Letak Bantalan

Grafik perbandingan pengujian getaran berdasarkan perbedaan letak bantalan pada Gambar 4.3 diperoleh dari tampilan program *LabVIEW* dengan satuan amplitudo mm dan waktu ms. Grafik hasil pengujian dan perhitungan teori dapat dilihat pada lampiran A. Faktor yang mempengaruhi amplitudo pada pengujian berdasarkan perbedaan letak bantalan yaitu kekakuan torsi sistem, dan kecepatan kritis sistem. Hal tersebut diterangkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Perbedaan Letak Bantalan

Uji	L(m)	K (N/m)	ω_n (rad/s)	X (m)		Selisih	
				Pengujian	Teori	m	%
A	0,635	306263	426,96	$5,1 \times 10^{-5}$	$6,14 \times 10^{-5}$	$1,04 \times 10^{-5}$	17,0
B	0,575	412488,9	495,50	$3,4 \times 10^{-5}$	$4,40 \times 10^{-5}$	$1,00 \times 10^{-5}$	21,7
C	0,515	574108,6	584,57	$2,1 \times 10^{-5}$	$3,07 \times 10^{-5}$	$0,97 \times 10^{-5}$	31,6
D	0,45	860554,2	715,70	$0,90 \times 10^{-5}$	$2,00 \times 10^{-5}$	$1,10 \times 10^{-5}$	55,0
E	0,385	1374148	904,40	$0,71 \times 10^{-5}$	$1,23 \times 10^{-5}$	$0,52 \times 10^{-5}$	42,4
F	0,33	2182096	1139,67	$0,60 \times 10^{-5}$	$0,76 \times 10^{-5}$	$0,16 \times 10^{-5}$	21,9
G	0,265	4213841	1583,74	$0,25 \times 10^{-5}$	$0,39 \times 10^{-5}$	$0,14 \times 10^{-5}$	36,6
Rata-rata selisih						$0,70 \times 10^{-5}$	32,4

Perbandingan grafik pengujian getaran berdasarkan letak bantalan dijelaskan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Perbedaan Letak Bantalan

Gambar 4.5 menunjukkan adanya selisih antara perhitungan teori dengan hasil pengujian dengan rata-rata 32,4%. Hal tersebut disebabkan tingkat sensitifitas transduser optik pada nilai yang terlalu kecil kurang optimal dan titik fokus transduser optik mempengaruhi pembacaan perpindahannya. Namun, kedua grafik tersebut mempunyai kecenderungan yang sama, semakin besar jarak bantalan, maka semakin besar pula amplitudo (getaran) yang terjadi.

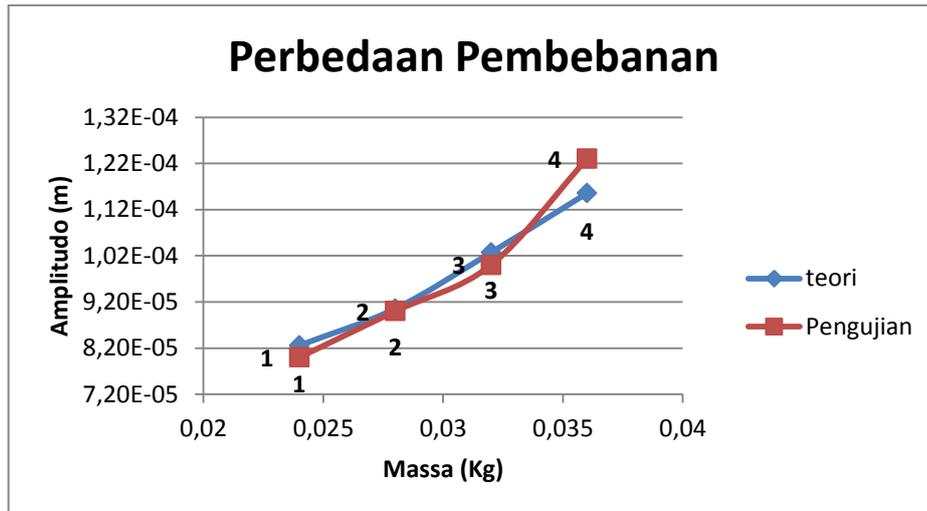
4.4.2 Perbedaan Pembebanan Puli

Pengujian berdasarkan perbedaan pembebanan puli dimaksudkan untuk mengetahui nilai ketidakseimbangan pada puli dan pengaruh getarannya pada poros. Beban yang diberikan bervariasi dan di pasang pada salah satu lubang puli yang telah dilubangi sebelumnya dengan sudut 0^0 , 90^0 , 180^0 , dan 270^0 . Pembebanan dilakukan secara bertahap dengan massa penambahan 0,004 Kg (Gambar 3.5). Pembebanan yang dilakukan adalah 0,024 Kg, 0,028 Kg, 0,032 Kg, dan 0,036 Kg. Acuan pengujian yang dilakukan adalah pengujian C karena posisi bantalan dan puli berada pada keadaan rata-rata dari pengujian lainnya. Grafik hasil pengujian dan perhitungan teoritis dapat dilihat pada lampiran B. Perbandingan hasil uji dengan perhitungan teori dijelaskan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Perbedaan Pembebanan

No	m (Kg)	U (kg.m)	F (N)	X (m)		Selisih	
				X teori	X Pengujian	m	%
1	0,024	$1,92 \times 10^{-3}$	44,2	$8,26 \times 10^{-5}$	$8,00 \times 10^{-5}$	$2,57 \times 10^{-6}$	3,2
2	0,028	$2,24 \times 10^{-3}$	51,6	$8,99 \times 10^{-5}$	$9,00 \times 10^{-5}$	$0,54 \times 10^{-6}$	0,6
3	0,032	$2,56 \times 10^{-3}$	59,0	$10,3 \times 10^{-5}$	$10,0 \times 10^{-5}$	$2,71 \times 10^{-6}$	2,6
4	0,036	$2,88 \times 10^{-3}$	66,3	$11,6 \times 10^{-5}$	$12,3 \times 10^{-5}$	$7,45 \times 10^{-6}$	6,4
Rata-rata selisih						$3,30 \times 10^{-5}$	3,2

Perbandingan pembebanan puli dijelaskan pada Gambar 4.6 perbandingan pembebanan puli dilakukan pada sudut yang sama. Perubahan beban yang dilakukan dilakukan secara bertahap.



Gambar 4.6 Perbedaan Pembebanan

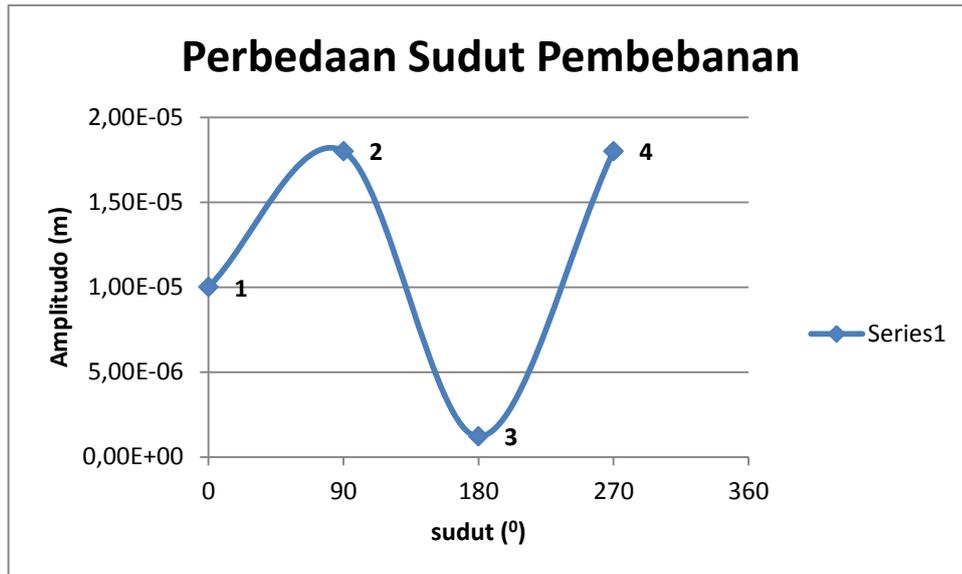
Gambar 4.6 menunjukkan adanya selisih antara perhitungan teori dengan hasil pengujian dengan rata-rata 3,2%. Hal tersebut disebabkan putaran motor mulai tidak seimbang. Namun, kedua grafik tersebut mempunyai kecenderungan yang sama, semakin besar massa tak seimbang, maka semakin besar pula amplitudo (getaran) yang terjadi.

4.4.3 Perbedaan Sudut Pembebanan Puli

Pengujian berdasarkan perbedaan sudut hanya membandingkan besar amplitudo tiap sudut uji puli. Hal tersebut dimaksudkan untuk mengetahui proses *balancing*. Nilai amplitudo getaran akibat beban pada sudut tertentu puli dijelaskan pada gambar 4.7, getaran terjadi akibat gaya sentrifugal rotor akibat perbedaan massa *unbalance*. Grafik hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran C. Data nilai amplitudo diperinci pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Perbedaan Sudut

No.	Sudut	X (m)
1	0	$1,0 \times 10^{-5}$
2	90	$1,8 \times 10^{-5}$
3	180	$1,2 \times 10^{-6}$
4	270	$1,8 \times 10^{-5}$



Gambar 4.7 Perbedaan Sudut Puli

Pengujian berdasarkan perbedaan sudut pembebanan (Gambar 3.6), pengujian 1 (Gambar 4.7) merupakan acuan dari pengujian 2, pengujian 3, dan pengujian 4. Pada pengujian 2 dan 4 (Gambar 4.7) hasil pengujian cenderung sama karena beban dan sudut sejajar. Maka pada pengujian 2 dan 4 bisa digunakan sebagai proses *balancing*. Pada pengujian 3 (Gambar 4.7) nilainya mendekati nol dikarenakan perbandingan massa dengan pengujian 1 relatif kecil (0,004 Kg) sehingga menghasilkan gaya sentrifugalnya dan amplitudo kecil.

4.4.3 Perbedaan Kecepatan Rotor

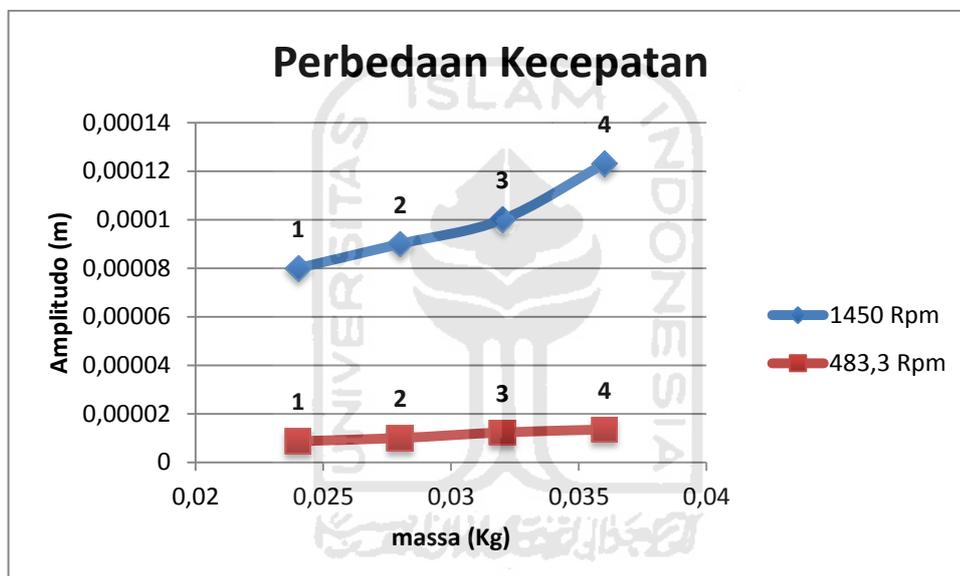
Pengujian berdasarkan perbedaan pembebanan puli dimaksudkan untuk mengetahui nilai ketidakseimbangan akibat kecepatan rotor dan pengaruh getarannya pada poros. Grafik hasil pengujian dan perhitungan teori dapat dilihat pada lampiran D.

Perbandingan amplitudo dari dua kecepatan rotor dijelaskan pada Gambar 4.8 dan Tabel 4.4. Perbandingan yang digunakan sebagai pembanding yaitu data dari Tabel 4.2 dengan variasi pembebanan.

Dengan cara yang sama, perhitungan amplitudo dari perbandingan kecepatan rotor dan nilai selisihnya, dirinci pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Perbedaan Uji

No.	m (Kg)	F (N)	X teori (m)		X pengujian (m)		Selisih	
			1450 Rpm	483,3 Rpm	1450 Rpm	483,3 Rpm	μm	%
1	0,024	4,91	$8,26 \times 10^{-5}$	$0,86 \times 10^{-5}$	8×10^{-5}	$0,90 \times 10^{-5}$	37	4,3
2	0,028	5,73	$9,05 \times 10^{-5}$	$1,00 \times 10^{-5}$	9×10^{-5}	$1,10 \times 10^{-5}$	94	9,3
3	0,032	6,55	$10,3 \times 10^{-5}$	$1,15 \times 10^{-5}$	10×10^{-5}	$1,23 \times 10^{-5}$	80	6,9
4	0,036	7,37	$11,6 \times 10^{-5}$	$1,29 \times 10^{-5}$	12×10^{-5}	$1,35 \times 10^{-5}$	56	4,3
Rata-rata Selisih							67	6,71



Gambar 4.8 Perbedaan Kecepatan Rotor

Tabel 4.4 menunjukkan adanya selisih antara perhitungan teori (n_2) dengan hasil pengujian (uji 2), rata-rata 6,71%. Hal tersebut disebabkan putaran motor mulai tidak seimbang dan amplitudo terlalu kecil. Grafik tersebut menunjukkan kecepatan rotor berpengaruh pada besarnya amplitudo (getaran) yang terjadi.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Alat instrumentasi pengukuran getaran torsional pada alat uji *rotary balancing* berhasil dibuat dengan rata-rata selisih dari teoritis 32,4% pada perbandingan letak bantalan karena sensitifitas transduser kurang optimal pada amplitudo rendah.
2. Putaran motor yang tidak seimbang menyebabkan selisih amplitudo sebesar 6,71% pada perbandingan kecepatan rotor dan selisih sebesar 3,2% pada pengujian pembebanan.
3. Transduser perpindahan optik dapat digunakan untuk mengukur getaran dengan memperhatikan titik fokusnya.

5.2 Saran

Instrumentasi pengukuran getaran masih perlu pengembangan dan dapat dilakukan dengan beberapa metode. Untuk itu, kemungkinan saran yang bisa dilakukan untuk pengembangan seperti, perlu dipasang *inverter* untuk mengatur kecepatan motor.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin dan Arstianti., 2008., *Pemodela, Pengujian, dan Analisis getaran Torsional dari Perangkat Uji Sistem Poros Rotor.*, Skripsi tidak diterbitkan. Teknik Mesin Institut Teknologi Bandung
- A Yudistira Bayu., 2011., *Perancangan dan Pembuatan Alat Uji Rotary Balancing.*, Skripsi tidak diterbitkan. Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia
- Al-Tae Muhammed T.S., 2007., *Theoretical And Experimental Method Of Rotating Discs Balancing.*, Desertasi tidak diterbitkan. Mechanical Department Mosul University.
- Cooper William D., 1985., *Instrumentasi Elektronika dan Pengukuran Teknik.*, Prentice Hall, Inc
- Doebelin Ernest D., 1987., *Sistem Pengukuran Aplikasi dan Perancangan.*, Jakarta: Erlangga
- Elan Microelectronic Corp. 2009. IGRIP® *Semiconductor Specification.* Elan Meroelectronic Corp
- Holman J.P., 1985., *Metode Pengukuran Teknik.*, Jakarta: Erlangga
- Inman Daniel J., 2001., *Engineering Vibration (2nd Ed).*, Prentice Hall, Inc
- Laboratorium Mekatronika UII., 2007., *Modul Praktikum Mekatronika.*, Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia
- Mobley Keith R., 1999., *Root Cause Failure Analysis.*, United State of America: Butterworth–Heinemann.
- Morgana, Cahaya., 2010., *Perancangan Sistem Pengukuran pada Alat Uji Getaran Tak Seimbang Vertikal Menggunakan Sensor Effect Hall.*, Skripsi tidak diterbitkan. Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia
- National Instrument. 2011. *Data Acquiring.* zone.ni.com (Diakses 5/2/2011)
- Premchand Mahalik N., 2004., *Mechatronics “Principles, Concept, and Application”.*, Singapore: McGraw-Hill
- Seto William W, 1984., *Getaran Mekanis “Versi S1/Matriks”.*, Diterjemahkan oleh Sebayang Darwin. Penerbit Gelora Aksara Pratama

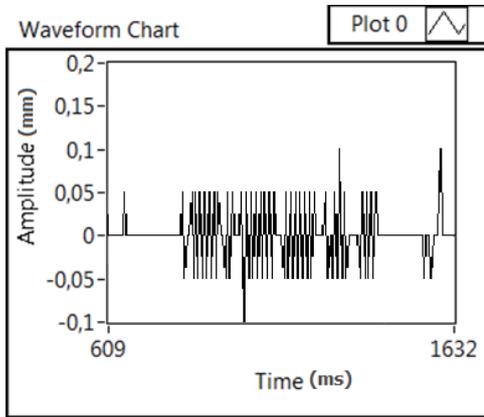
- Sianipar H.R.J ., 2008., *Spektrum Getaran pada Bantalan Elemen Gelinding Tanpa Pelumasan dan Mengalami Misalignment.*, Skripsi tidak diterbitkan. Teknik Mesin Universitas Gajah Mada
- T. Thomson William., 1986., *Teori Getaran dengan Penerapan.*, Jakarta: Erlangga
- Travis Jeffrey dan Kring Jim., 2006., *LabVIEW for Everyone: Graphical Programming Made Easy and Fun.*, Prentice Hall
- W Bolton., 2006., *Sistem Instrumentasi dan Sistem Kontrol.*, Jakarta: Erlangga



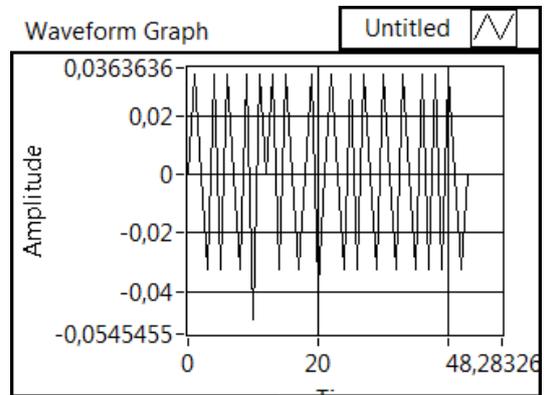
LAMPIRAN

Lampiran A Perbedaan Letak Bantalan

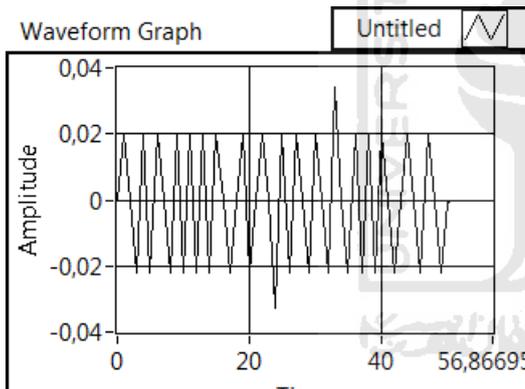
Pengujian A (0,635 m)



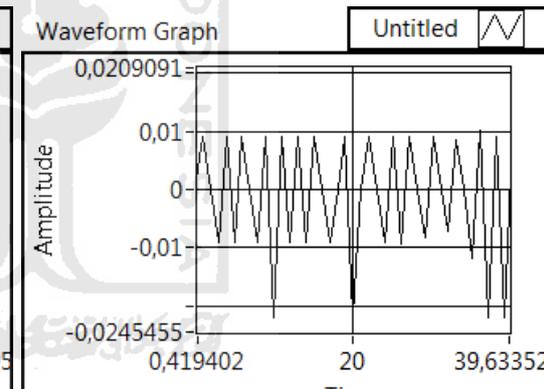
Pengujian B (0,575 m)



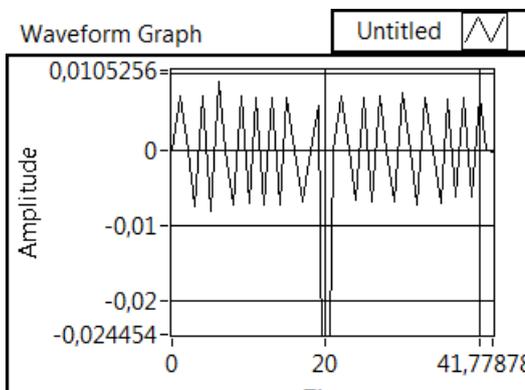
Pengujian C (0,515 m)



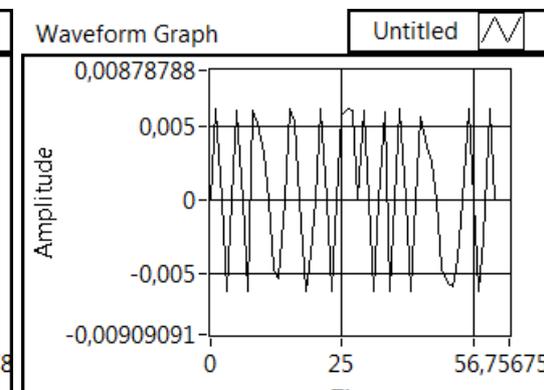
Pengujian D (0,45 m)



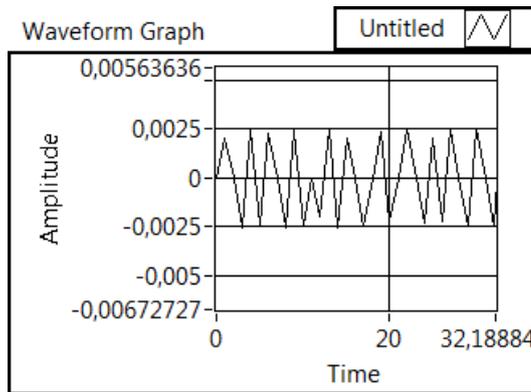
Pengujian E (0,385 m)



Pengujian F (0,33 m)



Pengujian G (0,265 m)



Perhitungan teoritis

Alat uji *rotary balancing* memiliki data teknis sebagai berikut:

Massa rotor (M) = 1,68 Kg

Diameter poros (d) = $2,54 \times 10^{-2}$ m

Modulus geser poros (G) = $8 \times 10^{10} \frac{N}{m^2}$

Kecepatan motor (n) = 1450 Rpm

Jarak antar bantalan (l) = 0,635 m

Dengan data-data yang telah didapat, maka untuk mencari parameter getaran adalah sebagai berikut:

1. Mencari Kekakuan Torsi Pegas Dalam

$$K = \frac{48G\pi d^4}{64l^3} \quad (4.1)$$

$$K = \frac{48 \times \left(\frac{8 \times 10^{10} N}{m^2} \right) \times 3,14 \times (0,0254 m)^4}{64 \times (0,635 m)^3}$$

$$K = \frac{5,02 \times 10^6 Nm^2}{16,4 m^3}$$

$$K = 3,06 \times 10^5 \frac{N}{m}$$

2. Mencari Kecepatan Kritis Sistem

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{M}} \quad (4.2)$$

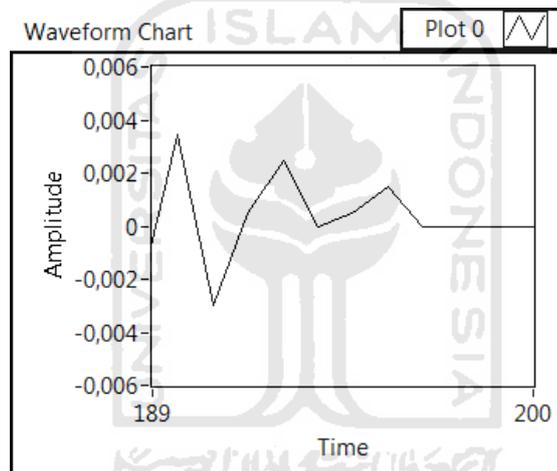
$$\omega_n = \sqrt{\frac{3,06 \times 10^5 \frac{N}{m}}{1,68 \text{Kg}}}$$

$$\omega_n = \sqrt{182299,43}$$

$$\omega_n = 426,96 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

3. Nilai Konstanta Redaman Bantalan

Konstanta redaman bantalan diperoleh dari pengurangan amplitudo getaran yang terjadi pada kecepatan yang telah diatur sebelumnya, dan menampilkan amplitudo konstan, kemudian motor dimatikan hingga amplitudo nol. Hal tersebut dijelaskan pada Gambar 4.4.



Gambar A.1 Pengurangan Amplitudo

Dari Gambar A.1 dapat diketahui nilai amplitudo sebagai berikut:

$$x_0 = 0,0038$$

$$x_1 = 0,0022$$

$$x_2 = 0,0017$$

Dari data yang telah didapat, maka untuk mencari nilai konstanta redaman bantalan dicari dengan tiga perbandingan yaitu x_0 dan x_2 , x_0 dan x_1 , x_1 dan x_2 . Dari nilai rata ketiga hasil tersebut maka didapat nilai konstanta redaman bantalan (C). Nilai lebih rinci dijelaskan pada tabel 4.1.

a. Nilai pengurangan amplitudo

$$\delta = \frac{1}{n} \ln \left(\frac{x_0}{x_n} \right) \quad (4.3)$$

$$\delta = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{0,0038}{0,0017} \right)$$

$$\delta = \frac{1}{2} \ln(2,23)$$

$$\delta = \frac{1}{2} 804$$

$$\delta = 0,402$$

b. Nilai faktor redaman

$$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{4\pi^2 + \delta^2}} \quad (4.4)$$

$$\zeta = \frac{0,97}{\sqrt{(4 \times 3,14^2) + 0,97^2}}$$

$$\zeta = \frac{0,97}{\sqrt{40,4}}$$

$$\zeta = \frac{0,97}{6,35}$$

$$\zeta = 0,063$$

c. Nilai konstanta redaman

$$C = 2M\omega_n\zeta \quad (4.5)$$

$$C = 2 \times (1,68Kg) \times \left(\frac{426,96rad}{s} \right) \times 0,15$$

$$C = 91,7 \frac{Nrad}{s}$$

Dengan cara yang sama, perhitungan nilai konstanta redaman (C) dari perbandingan x_0 dan x_2 , x_0 dan x_1 , x_1 dan x_2 , dan nilai rata-ratanya, dirinci pada Tabel A.1.

Tabel A. 1 Nilai Konstanta Redaman

Perbandingan Amplitudo	δ	ζ	C
x_0 dan x_2	0,4021864	0,063	91,7
x_0 dan x_1	0,5465437	0,08	124
x_1 dan x_2	0,2578291	0,04	58,8
Nilai rata-rata C			91,6

4. Mencari Nilai Amplitudo

Gaya pembebanan

$$F = mg \quad (4.6)$$

$$F = 1,68Kg \times \left(\frac{9,8m}{s^2}\right)$$

$$F = 16,46 N$$

a. Kecepatan motor

$$\omega = 2\pi n \quad (4.7)$$

$$\omega = \frac{2 \times (3,14) \times (1450 Rpm)}{60}$$

$$\omega = 152 \frac{rad}{s}$$

b. Nilai amplitudo

$$X = \frac{F}{\sqrt{(K - M\omega^2)^2 + (C\omega)^2}} \quad (4.8)$$

$$X = \frac{16,46 N}{\sqrt{(3,06 \times 10^5 \frac{N}{m} - ((1,68 Kg) \times (152 \frac{rad}{s})^2))^2 + (91,7 \frac{Nrad}{s} \times 152 \frac{rad}{s})^2}}$$

$$X = \frac{16,46 N}{\sqrt{7,18 \times 10^{10} \frac{N^2}{m^2}}}$$

$$X = \frac{16,46 N}{267928,61 \frac{N}{m}}$$

$$X = 6,14 \times 10^{-5} m$$

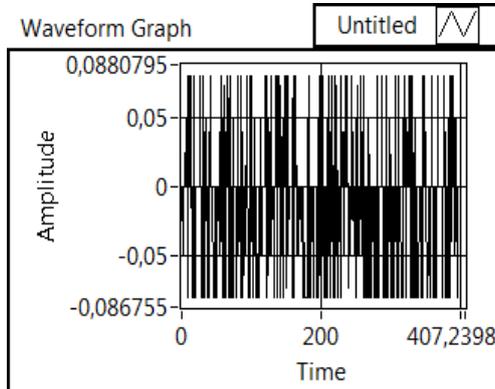
Data yang didapat dari pengujian dan perhitungan teori adalah:

Amplitudo pengujian $5,1 \times 10^{-5} m$

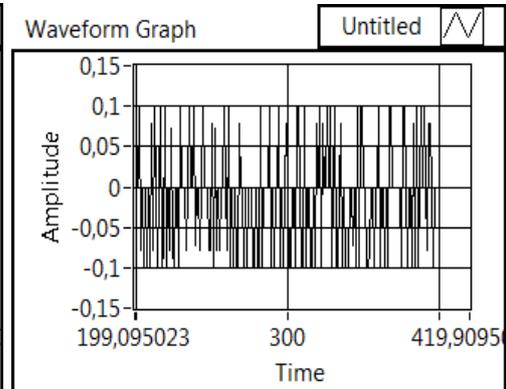
Amplitudo teoritis $6,14 \times 10^{-5} m$

Lampiran B Perbedaan Pembebanan

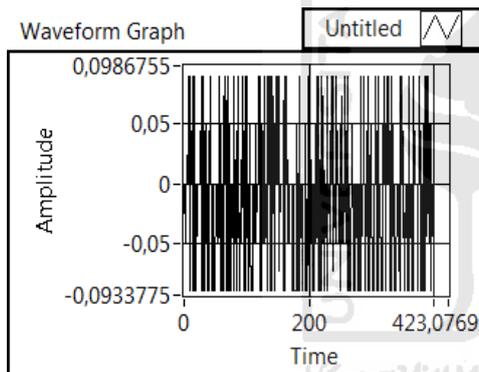
Pengujian 1 (0,024 Kg)



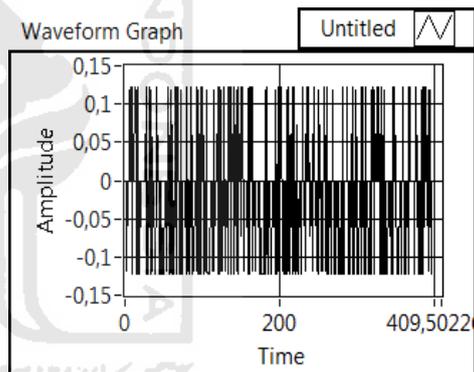
Pengujian 3 (0,032 Kg)



Pengujian 2 (0,028 Kg)



Pengujian 4 (0,036 Kg)



Perhitungan teoritis

Metode pengujian pembebanan pada puli dilakukan dengan variasi massa seperti dijelaskan pada tabel 4.3. Data-data yang sudah didapat yaitu:

$$\text{Massa pembeban (m)} = 0,024 \text{ Kg}$$

$$\text{Jari-jari pembebanan (r)} = 0,8 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan rotor } (\omega) = 152 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\text{Kekakuan Torsi (K)} = 5,74 \times 10^5 \frac{\text{Nm}}{\text{rad}}$$

$$\text{Konstanta redaman (C)} = 91,7 \frac{\text{Ns}}{\text{m}}$$

1. Ketidakseimbangan (*Unbalance*)

$$U = mr \quad (4.9)$$

$$U = 0,024 \text{ Kg} \times 0,8 \text{ m}$$

$$U = 1,92 \times 10^{-3} \text{ Kgm}$$

2. Gaya sentrifugal

$$F = mr\omega^2 \quad (4.10)$$

$$F = (0,024 \text{ Kg}) \times (0,8 \text{ m}) \times (152 \frac{\text{rad}}{\text{s}})^2$$

$$F = 44,2 \text{ N}$$

3. Amplitudo *Unbalance*

$$X = \frac{F}{\sqrt{(K-M\omega^2)^2 + (C\omega)^2}} \quad (4.8)$$

$$X = \frac{44,2 \text{ N}}{\sqrt{(5,74 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}} - ((1,68 \text{ Kg}) \times (152 \frac{\text{rad}}{\text{s}})^2))^2 + (91,7 \frac{\text{Nrad}}{\text{s}} \times 152 \frac{\text{rad}}{\text{s}})^2}}$$

$$X = \frac{44,2 \text{ N}}{\sqrt{2,87 \times 10^{11} \frac{\text{N}^2}{\text{m}^2}}}$$

$$X = \frac{44,2 \text{ N}}{5,36 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}}}$$

$$X = 8,26 \times 10^{-5} \text{ m}$$

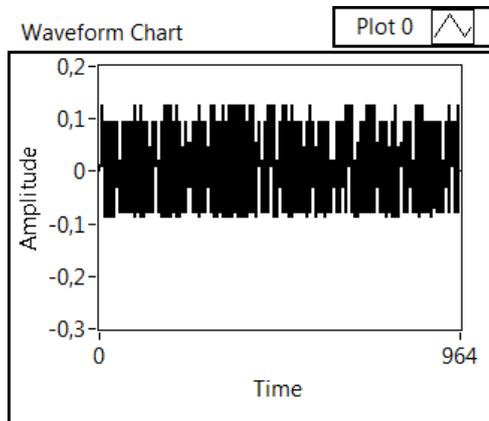
Data yang didapat dari pengujian dan perhitungan teori adalah:

Amplitudo pengujian $8,00 \times 10^{-5} \text{ m}$

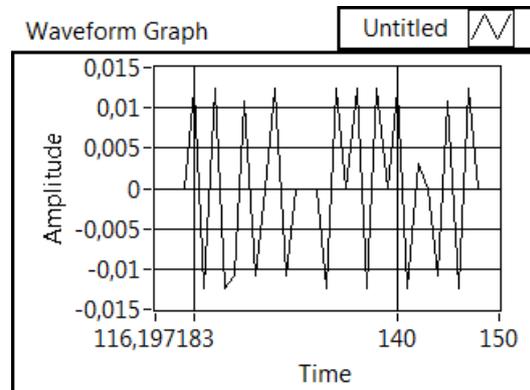
Amplitudo teoritis $8,26 \times 10^{-5} \text{ m}$

Lampiran C Perbedaan Sudut

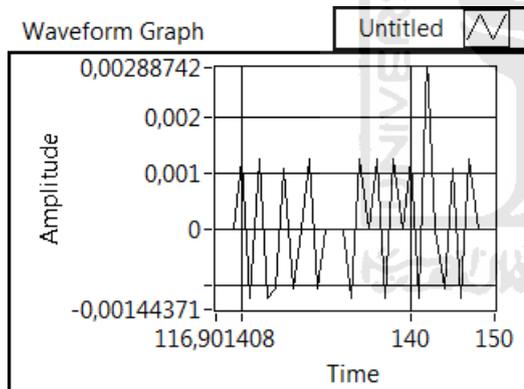
Posisi 0°



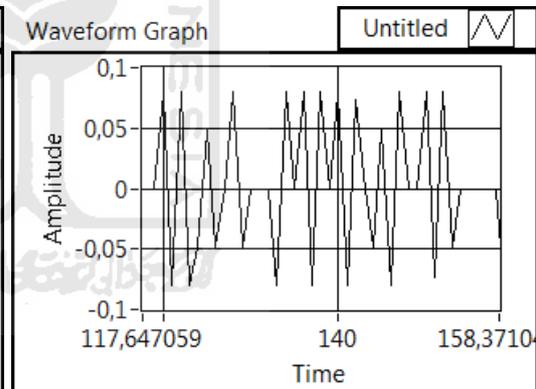
Posisi 90°



Posisi 180°

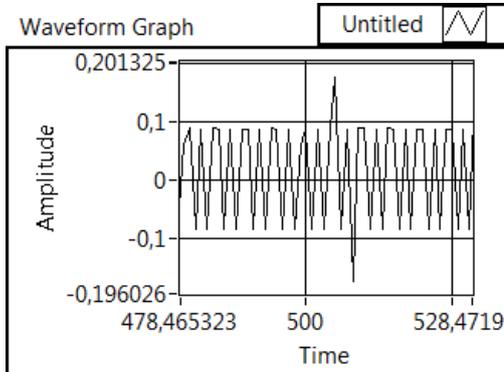


Posisi 270°

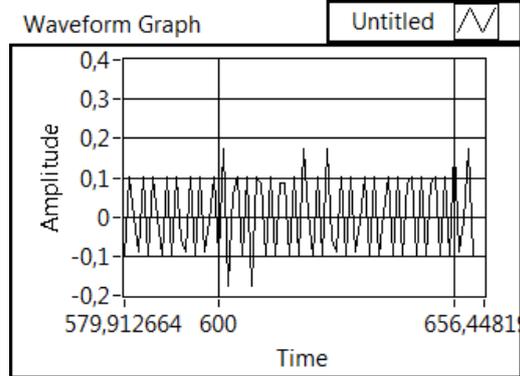


Lampiran D Perbedaan Kecepatan (483,3 Rpm)

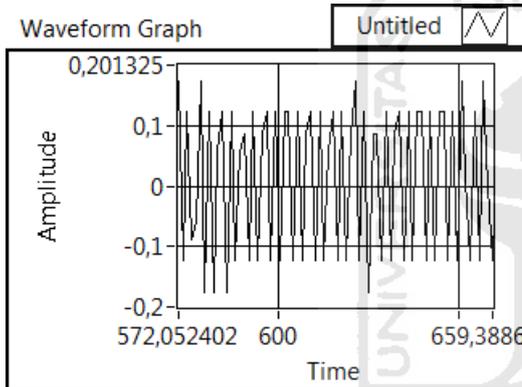
Pengujian 1 (0,024 Kg)



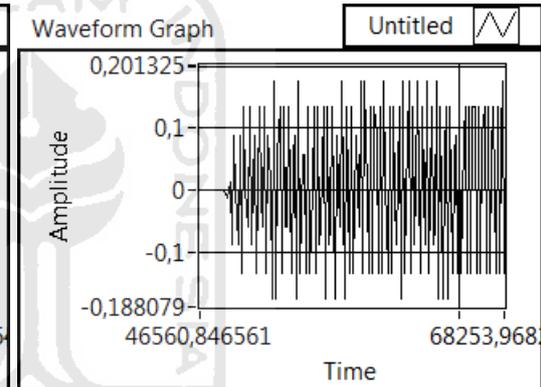
Pengujian 2 (0,028 Kg)



Pengujian 3 (0,032 Kg)



Pengujian (0,036 Kg)



Perhitungan teoritis

Massa pembeban (m) = 0,024 Kg

Jari-jari pembebanan (r) = 0,8 m

Kekakuan Torsi (K) = $5,74 \times 10^5 \frac{Nm}{rad}$

Konstanta redaman (C) = $91,7 \frac{Ns}{m}$

1. Ketidakseimbangan (*Unbalance*)

$$U = mr \tag{4.9}$$

$$U = 0,024 \text{ Kg} \times 0,8 \text{ m}$$

$$U = 1,92 \times 10^{-3} \text{ Kgm}$$

2. Kecepatan rotor 2

Pada pengujian perbandingan kecepatan rotor, didapat dari perbandingan diameter puli penggerak.

$$\text{Putaran motor 1 } (n_1) = 1450 \text{ Rpm}$$

$$\text{Diameter puli 1 } (d_1) = 50,8 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter puli 2 } (d_2) = 152,4 \text{ mm}$$

a. Mencari putaran motor 2

$$n_1 d_1 = n_2 d_2 \quad (4.11)$$

$$n_2 = \frac{n_1 d_1}{d_2}$$

$$n_2 = \frac{(1450 \text{ Rpm}) \times (50,8 \text{ mm})}{152,4 \text{ mm}}$$

$$n_2 = 483,3 \text{ Rpm}$$

b. Mencari kecepatan rotor 2

$$\omega_2 = \frac{2\pi n_2}{60}$$

$$\omega_2 = \frac{2 \times (3,14) \times (483,3 \text{ Rpm})}{60}$$

$$\omega_2 = 50,6 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

3. Gaya sentrifugal

$$F = mr\omega_2^2 \quad (4.10)$$

$$F = (0,024 \text{ Kg}) \times (0,8 \text{ m}) \times (50,6 \frac{\text{rad}}{\text{s}})^2$$

$$F = 4,91 \text{ N}$$

4. Amplitudo *Unbalance*

$$X = \frac{F}{\sqrt{(K - M\omega^2)^2 + (C\omega)^2}} \quad (4.8)$$

$$X = \frac{4,91 \text{ N}}{\sqrt{(5,74 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}} - ((1,68 \text{ Kg}) \times (50,6 \frac{\text{rad}}{\text{s}})^2)^2 + (91,7 \frac{\text{Nrad}}{\text{s}} \times 50,6 \frac{\text{rad}}{\text{s}})^2}}$$

$$X = \frac{4,91 N}{\sqrt{3,24 \times 10^{11} \frac{N^2}{m^2}}}$$

$$X = \frac{4,91 N}{569827 \frac{N}{m}}$$

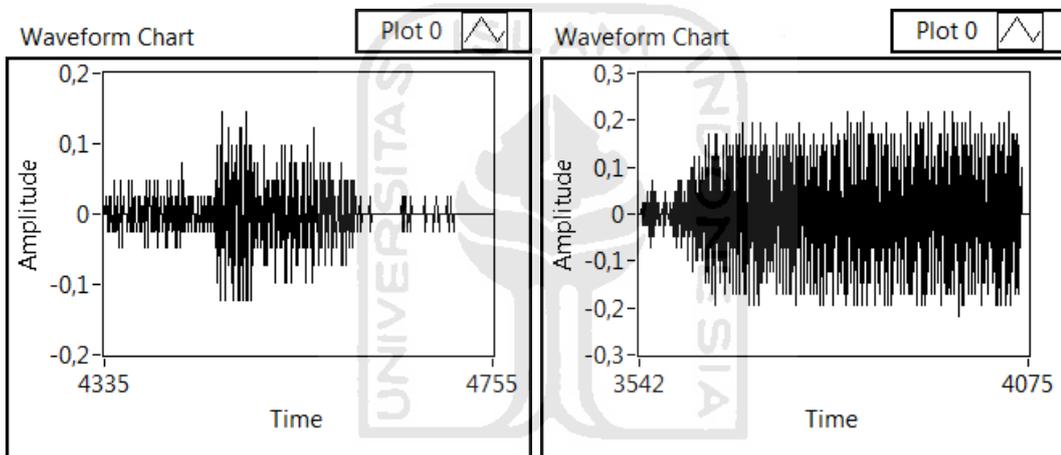
$$X = 8,6 \times 10^{-6} m$$

Data yang didapat dari pengujian dan perhitungan teori adalah:

Amplitudo pengujian $9,0 \times 10^{-6} m$

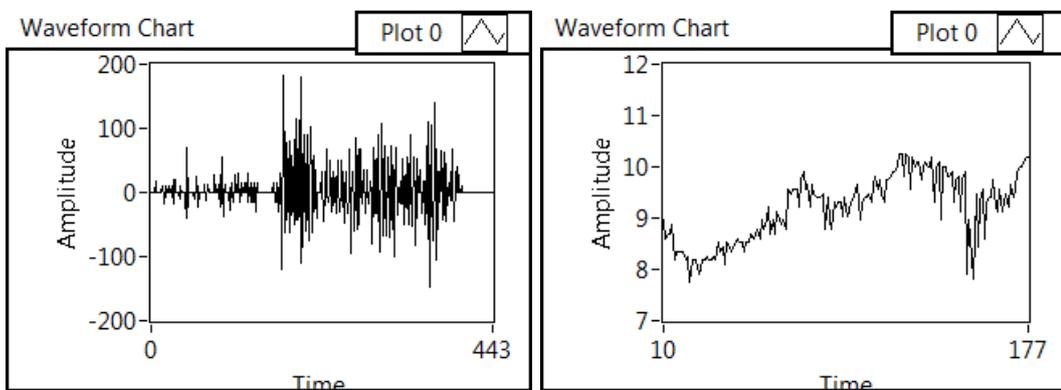
Amplitudo teoritis $8,6 \times 10^{-6} m$

Lampiran E Kesalahan Pengujian



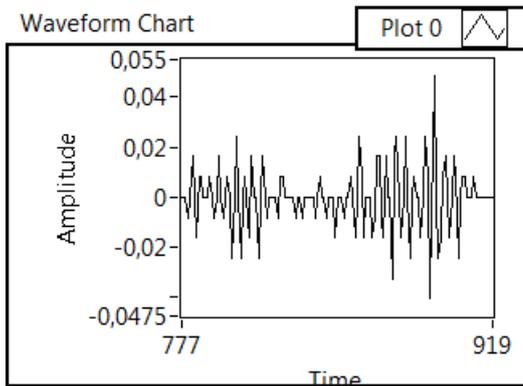
Transduser goyang

motor longgar



Overhigh error

Kalibrasi Salah

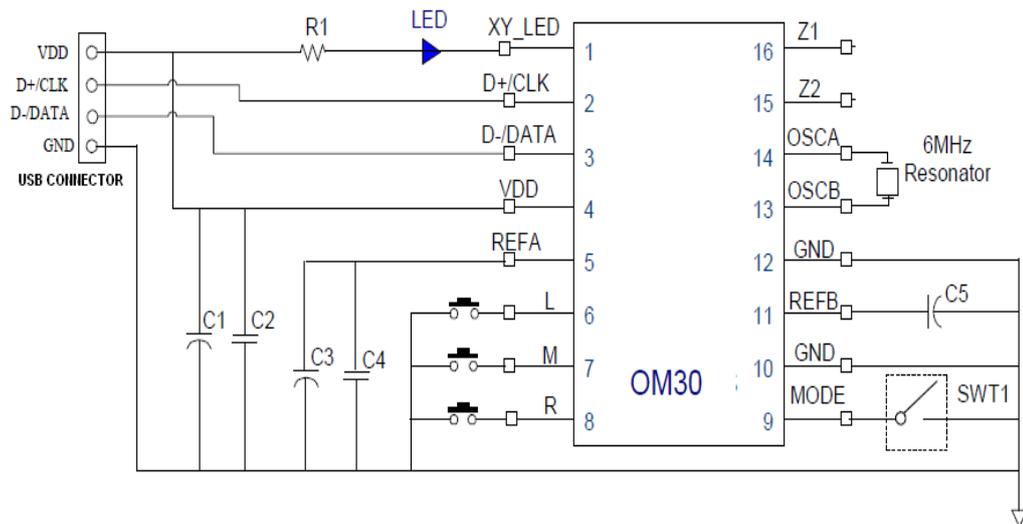


Penyangga Transduser Terkena Transmisi Getaran

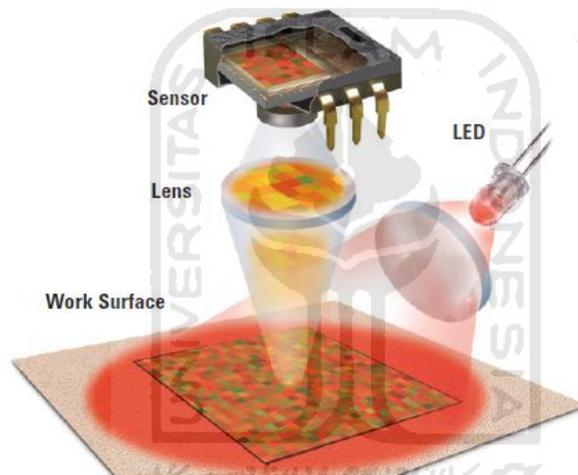
Lampiran F Spesifikasi *Hardware*

Pin No.	Symbol	I/O	Description
1	XY_LED	O	LED control
2	D+/CLK	I/O	USB D+ or PS/2 CLK
3	D-/DATA	I/O	USB D- or PS/2 DATA
4	VDD	-	5 V DC power supply
5	REFA	-	3.3V Reference
6	L	I	Left key
7	M	I	Middle key
8	R	I	Right key
9	MODE	-	U+P or U Only
10	GND	-	Ground
11	REFB	-	1.8V Reference
12	GND	-	Ground
13	OSCB	-	Oscillator
14	OSCA	-	
15	Z2	I	Scroller
16	Z1	I	

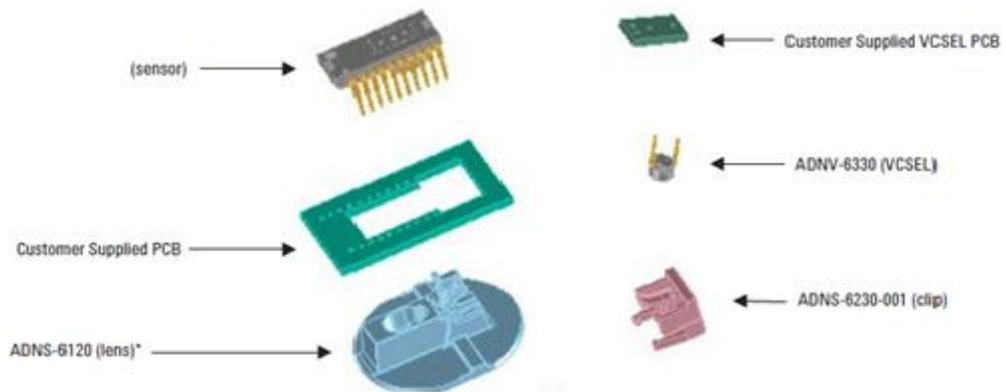
Gambar F.1 Pin-Out OM30 (Elan Microelektronics, 2009)



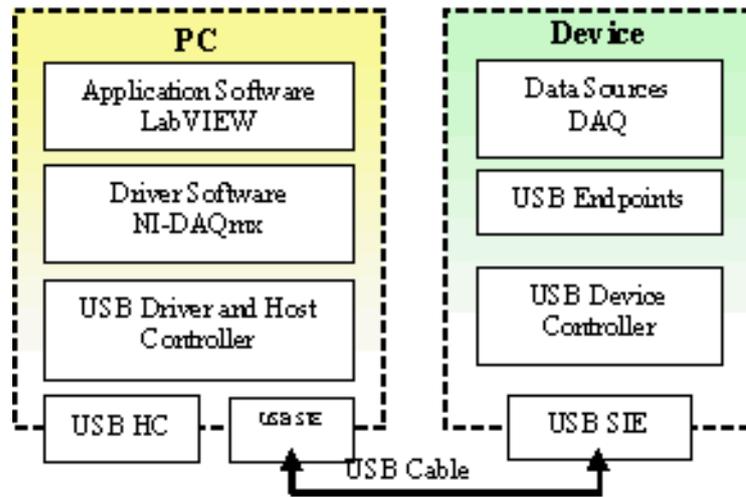
Gambar F.2 Skema Mekanis Perangkat Keras (Elan Microelektronics, 2009)



Gambar F.3 Cara Kerja Transduser Optik (Elan Microelektronics, 2009)



Gambar F.4 Komponen Perangkat Keras (Elan Microelektronics, 2009)



Gambar F.5 Komunikasi Data (<http://www.zone.ni.com>., 2011)

