

**PEMANTAUAN KONDISI KERUSAKAN MESIN PENDINGIN  
RUANGAN TIPE SPLIT BERBASIS VIBRASI**

**TESIS**

**FRANS RIZAL AGUSTIYANTO**

**0806421073**



**UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN  
ALAM  
PROGRAM MAGISTER FISIKA  
DEPOK  
JULI 2010**

**PEMANTAUAN KONDISI KERUSAKAN MESIN PENDINGIN  
RUANGAN TIPE SPLIT BERBASIS VIBRASI**

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains**

**FRANS RIZAL AGUSTIYANTO**

**0806421073**



**UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN  
ALAM  
PROGRAM MAGISTER FISIKA  
DEPOK  
JULI 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Frans Rizal Agustiyanto**

**NPM : 0806421073**

**Tanda tangan :**

**Tanggal : 20 Juli 2010**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Frans Rizal Agustiyanto  
NPM : 0806421073  
Program Studi : Magister Fisika  
Judul Tesis : PEMANTAUAN KONDISI KERUSAKAN MESIN  
PENDINGIN RUANGAN TIPE SPLIT BERBASIS  
VIBRASI

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Magister Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Prawito ( ..... )  
Pembimbing II : Dr. rer. nat. Bambang Heru I. ( ..... )  
Penguji : Prof. Dr. B. E. F. Da Silva, M.Sc ( ..... )  
Penguji : Dr. Santoso Soekirno ( ..... )  
Penguji : Dr. rer. nat. Martarizal ( ..... )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 20 Juli 2010

## KATA PENGANTAR/ UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkah dan rahmat-Nya saya dapat menyelesaikan Tesis ini. Penulisan Tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Sains jurusan Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

(1) Dr. Prawito selaku dosen pembimbing I yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tesis ini;

(2) Dr.rer.nat Bambang Heru Iswanto selaku dosen pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tesis ini;

(3) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;

(4) Istri tercinta Fidyah Praguna H., S.Si atas kesabaran dan kasih sayang yang tulus serta anakku tersayang Faiq Rizaguna Parikesit (F 12 P) yang telah memberikan semangat dan inspirasi kepada penulis sehingga membantu penulis untuk selalu berjuang mencari pelita ilmu agar bisa menerangi jalan dan tujuan penulis.

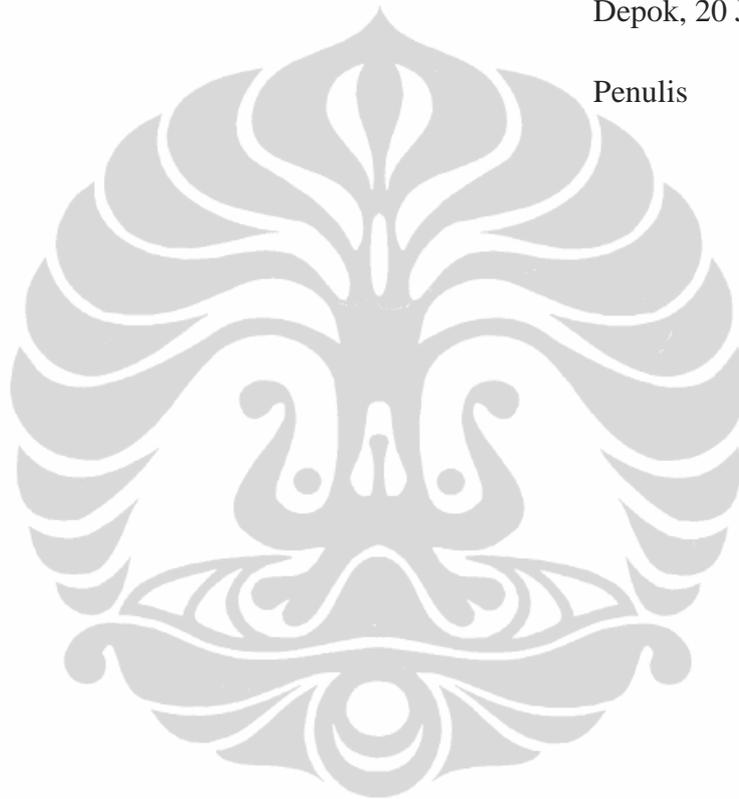
(4) Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan Tesis ini khususnya teman seangkatan program S2 Fisika Instrumentasi angkatan 2008, untuk saudara Prabowo (Lipi, terimakasih atas sensornya), Ibu andi Ulfie (PNJ, terimakasih bu atas Daq Cardnya), Mashadi (Batan), brur budi (BPPT), Beny (SI), serta teman penulis yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu. Thanks to all of you for helping me

(5) Prof. Dr. B. E. F. Da Silva, M.Sc atas diskusi beberapa konsep fisika yang membantu penulis memahami arti dan maksudnya.

Akhir kata saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 20 Juli 2010

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Frans Rizal Agustiyanto  
NPM : 0806421073  
Program Studi : Magister Fisika (Fisika Instrumentasi)  
Departemen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Pemantauan Kondisi Kerusakan Mesin Pendingin Ruangan Tipe Split Berbasis Vibrasi”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta  
Pada tanggal : 20 Juli 2010

Yang menyatakan

(Frans Rizal Agustiyanto)

## Intisari

Nama : Frans Rizal Agustiyanto

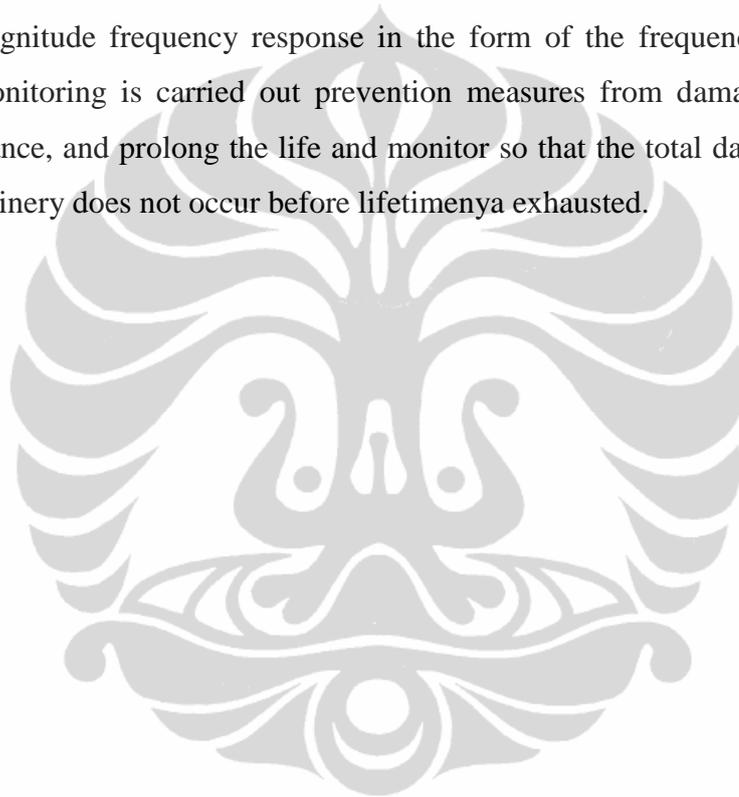
Prog. Studi : Fisika Instrumentasi

Judul : Pemantauan Kondisi Kerusakan Mesin Pendingin Ruangan Tipe Split Berbasis Vibrasi

Pemanfaatan getaran mekanik yang dihasilkan oleh unit AC *outdoor* untuk memantau kinerja dan kondisi dari mesin tersebut dengan menggunakan sensor akselerometer adxl330 yang dihubungkan dengan Daq Card dengan sebuah pengolah sinyal yaitu software signal express, sehingga didapatkan akuisisi data yang bisa dimanfaatkan untuk menilai kondisi mesin itu secara *realtime*, hasil yang didapatkan berupa spektrum listrik, nilai respons frekuensi dalam bentuk domain frekuensi. *Condition monitoring* (Pemantauan Kondisia) yang dilakukan merupakan langkah-langkah pencegahan dari kerusakan, mengurangi biaya pemeliharaan, dan memperpanjang usia pakai serta memantau agar kerusakan total dari mesin *outdoor* tersebut tidak terjadi sebelum masa berlakunya habis.

## **Abstract**

Utilization of mechanical vibrations generated by the outdoor AC unit to monitor the performance and condition of the machine using an accelerometer sensor connected to adxl330 Daq Card with a signal conditioning which is a software signal express, so we get the data acquisition that can be used to assess the condition of the machine in realtime, the results obtained in the form of power spectrum, magnitude frequency response in the form of the frequency domain. Condition monitoring is carried out prevention measures from damage, reduce cost maintenance, and prolong the life and monitor so that the total damage from outdoor machinery does not occur before lifetimenya exhausted.

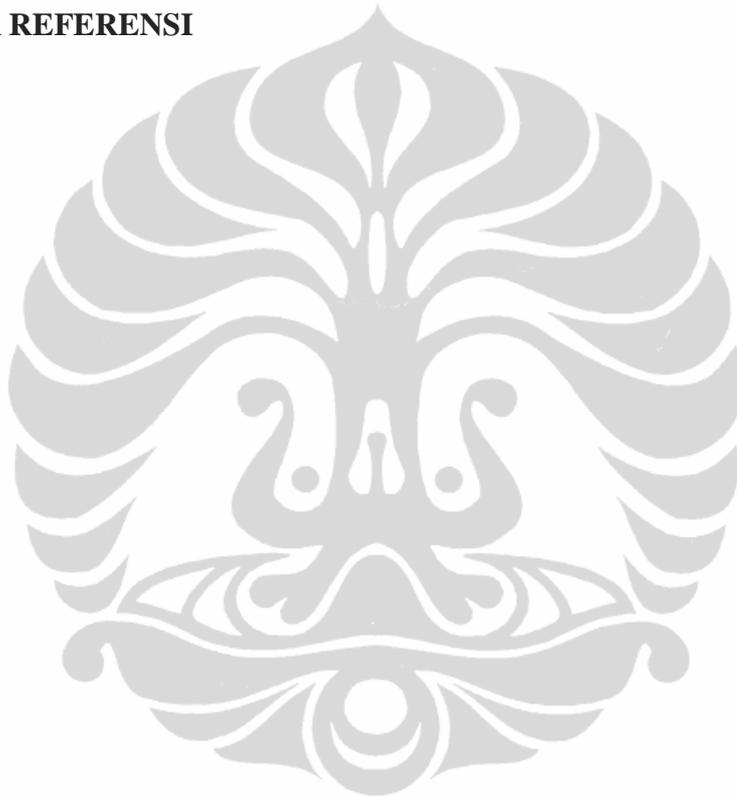


## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
<b>1. PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar belakang	1
1.2 Kerusakan Pada Unit Outdoor Air Conditioning (AC)	3
1.3 Deteksi Kerusakan Pada Unit Outdoor AC	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Tujuan penulisan	4
<b>2. PEMANTAUAN KONDISI MESIN DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK VIBRASI</b>	<b>5</b>
2.1 Prinsip Pemantauan Kondisi	5
2.2 Indikasi Palsu	6
2.3 Kerusakan Mesin	7
2.4 Teori Dasar Kerusakan Mesin	8
2.4.1 Sistem Massa-Pegas: massa, kekakuan, redaman	8
2.4.2 Sistem Responsif	10
2.5 Perubahan Spektrum Vibrasi berhubungan dengan Kondisi Suatu Mesin	11

2.6 Interpretasi Spektrum dan Diagnosa Kerusakan	13
2.7 Apakah Vibrasi itu?	14
2.7.1 Vibrasi Sederhana	15
2.7.2 Gelombang	17
2.7.3 Frekuensi (cycle)	17
2.7.4 Panjang Gelombang	18
2.7.5 Amplitude	18
2.7.6 Frekuensi dan Waktu	18
2.7.7 Fase	19
2.7.8 Bentuk Gelombang	19
2.7.9 Harmonik	19
2.7.10 Analisis Fourier	21
2.7.11 Perpindahan, kecepatan, percepatan – mana yang harus digunakan	21
2.8 Pemanfaatan Labview	23
2.9 Bentuk Analisis	23
<b>3. INSTRUMENTASI VIBRASI</b>	<b>25</b>
3.1 Transducer MEMS Accelerometer	25
3.1.1 Prinsip Kerja MEMS ADXL 330	26
3.2 DAQ CARD	27
3.3 LabVIEW Signal Express 2.5	29
3.4 Signal Processing	30
3.4.1 Filters	32
3.4.2 FFT ANALYZERS	36
<b>4. PENGUKURAN DAN ANALISA VIBRASI</b>	
<b>UNIT OUTDOOR AC</b>	<b>39</b>
4.1 Pengukuran Vibrasi	39
4.1.1 Langkah Kerja Pengukuran Vibrasi	40
4.1.2 Langkah Kerja Pengambilan dan Pengolahan Data Vibrasi	41
4.2 Simulasi Gangguan	43

4.2.1 Kondisi Normal	43
4.4.2 Kondisi tidak Normal	45
4.3 Intepretasi Data dan Analisis Hasil Spektrum	53
4.4 Pemantauan Kondisi Kerusakan Mesin Pendingin Ruangan	55
4.5 Hasil Pemantauan Kondisi dengan Menggunakan Program LabVIEW	56
<b>5. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>62</b>
<b>6. DAFTAR REFERENSI</b>	<b>64</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Ilustrasi Condition Monitoring	6
Gambar 2.2.	Sistem Massa-Pegas	8
Gambar 2.3.	Sistem Respon Rotor	10
Gambar 2.4.	Spektrum deteksi kerusakan mesin yang berotasi [4]	13
Gambar 2.5.	Vibrasi Sederhana	15
Gambar 2.6.	Gelombang Harmonik Sederhana – perubahan gerak pegas terhadap waktu	16
Gambar 2.7.	Bentuk gelombang dari Percepatan, kecepatan dan perpindahan pada gerak harmonic sederhana	17
Gambar 2.8.	Perbandingan beberapa gelombang dengan berbagai Amplitude	17
Gambar 2.9.	Hubungan fase dengan 2 bentuk gelombang yang sama	19
Gambar 2.10.	Beberapa angka yang menunjukkan jenis cycles	20
Gambar 2.11.	Transform fourier dari bentuk gelombang persegi	21
Gambar 2.12.	Hubungan antara perpindahan, kecepatan, dan percepatan dengan kecepatan konstan	22
Gambar 3.1.	Accelerometer ADXL303	27
Gambar 3.2.	Blok diagram ADXL 330	27
Gambar 3.3.	Daq Card	29
Gambar 3.4.	Tampilan Labview Signal Express	30
Gambar 3.5.	Skema menentukan frekuensi, resonansi, redaman, scalling	33
Gambar 3.6.	Karakteristik filter pada suatu bandwidth	33
Gambar 3.7.	Dua jenis tipe sinyal filter pada sinyal diskrit dan continus	36
Gambar 3.8.	Perbandingan transformasi fourier dengan diskrit fourier transform	38
Gambar 4.1.	Skematik instrumentasi vibrasi	39
Gambar 4.2.	Diagram kerja pengukuran	40
Gambar 4.3.	Diagram kerja pengambilan dan pengolahan data vibrasi	42
Gambar 4.4.	Sinyal input pada keadaan normal (LabVIEW Signal Express)	44
Gambar 4.5.	Input sinyal keadaan normal	44
Gambar 4.6.	Hasil FFT Keadaan Normal	45

Gambar 4.7. Pengukuran arus pada keadaan High Press	46
Gambar 4.8. Sinyal input pada keadaan High Pressure (LabVIEW Signal Express)	47
Gambar 4.9. Input Sinyal Keadaan High Press	47
Gambar 4.10. FFT Keadaan High Press	48
Gambar 4.11. Sinyal input pada keadaan Low Pressure (LabVIEW Signal Express)	49
Gambar 4.12. Input Sinyal Keadaan Low Press	49
Gambar 4.13. FFT Keadaan Low Press	50
Gambar 4.14. Sinyal input pada keadaan kompresor trouble (LabVIEW Signal Express)	51
Gambar 4.15. FFT Keadaan Ketidak normalan kompresor	52
Gambar 4.16 Perbandingan Spectrum Keadaan Normal Mesin Outdoor AC dengan Spektrum Keadaan High Press AC	53
Gambar 4.17 Perbandingan Spektrum Keadaan Normal Mesin Outdoor AC dengan Spektrum Keadaan Low Press AC	54
Gambar 4.18 Perbandingan Spectrum Keadaan Normal Mesin Outdoor AC dengan Spektrum Keadaan Kompresor yang Bermasalah	55
Gambar 4.19 Pemantauan kondisi spektrum pada kondisi mesin normal	56
Gambar 4.20 tidak ada indikasi kerusakan yang terjadi pada keadaan normal	57
Gambar 4.21 Pemantauan Kondisi pada keadaan High Press	57
Gambar 4.22 Terjadi indikasi kerusakan dengan menyalanya indikator	58
Gambar 4.23 Pemantauan Kondisi Pada keadaan low pressure	58
Gambar 4.24 Terjadi indikasi kerusakan dengan menyalanya indikator	59
Gambar 4.25 Pemantauan Kondisi pada keadaan internal kompresor bermasalah	60
Gambar 4.26 Terjadi indikasi kerusakan dengan menyalanya indikator	60

## DAFTAR LAMPIRAN

Data Sheet Accelerometer ADXL 330	65
Data Sheet NI DaqCard 6008	66
Basic Use Labview Signal Express	68
Foto Penempatan Sensor	69
Spesifikasi Unit Mesin Outdoor AC Sharp	70
Flow Chart Program Monitoring Kondisi Kerusakan	71
Blok Diagram Peantauan Kondisi kerusakan AC	72



## BAB 1 PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Indonesia adalah negara tropis dengan tingkat suhu dan kelembapan yang tinggi. Melalui kemajuan teknologi, suhu dan kelembapan tinggi ini bisa dimanipulasi melalui perbaikan ventilasi untuk mengontrol sirkulasi udara yang alami, ataupun dengan pemakaian kipas angin atau AC (Air Conditioner). Air Conditioner (AC) merupakan sebuah alat yang mampu mengkondisikan udara, dengan kata lain, AC berfungsi sebagai penyejuk udara. Penggunaan AC dimaksudkan untuk memperoleh temperatur udara yang diinginkan (sejuk atau dingin) dan nyaman bagi tubuh. AC lebih banyak digunakan pada wilayah yang beriklim tropis dengan kondisi temperatur udara yang relatif tinggi (panas), seperti wilayah Indonesia.

AC bisa digolongkan pada barang mewah karena harganya yang cukup mahal dan daya listrik yang dibutuhkan cukup besar. Namun sebagian orang, AC sudah tidak lagi menjadi barang mewah karena manfaatnya untuk mengatur siklus dan temperatur udara yang memberi efek pada kenyamanan tubuh. Pada penggunaannya, AC tidak hanya menyejukkan atau mendinginkan udara, tetapi bisa juga mengatur kebersihan dan kelembapan udara didalam ruangan sehingga tercipta kondisi udara yang berkualitas, sehat, dan nyaman bagi tubuh.

Kenyamanan dalam bekerja merupakan faktor yang penting bagi dunia kerja, salah satu faktor penentunya adalah kondisi lingkungannya dibuat sedemikian nyamannya, untuk mencapai tingkat kenyamanan ini, ada istilah yang disebut dengan thermal comfort (kenyaman terhadap kondisi udara sekitar). Pada titik ini, suhu udara, sirkulasi dan kebersihan udara tidak mengganggu kinerja manusia. Standar thermal comfort untuk negara-negara tropis berkisar diantara 24 sampai 26<sup>0</sup>C, dengan kelembapan antara 50 sampai 60 %. [5]

Pada era industri seperti sekarang ini, gedung perkantoran dan pabrik sudah banyak, bahkan hampir semuanya, menggunakan sistem pendingin udara atau AC (Air Conditioning). Keberadaan AC dilingkungan rumah tangga pun mulai banyak dan dirasakan manfaatnya. AC tipe split (wall split mounted) adalah salah

satu tipe yang paling banyak digunakan di sektor industri, perkantoran dan rumah tangga.

Karena proses pemakaian yang hampir sepanjang hari dan berbagai faktor lain yang terkait dengan kinerja mesin AC kerusakan pada mesin outdoor AC dapat terjadi. Kerusakan elektrik dan mekanik adalah contoh dari kerusakan akibat pola operasi (cara pemakaian). Kerusakan mekanik terjadi akibat terganggunya kinerja kompresor, Kondensor, kipas (fan) pipa kapiler, saringan refrigeran (strainer) dan juga kerusakan sistem kelistrikannya (Kapasitor, Overload Motor Protector (OMP), motor listik dan motor kompresor). [5]

Apabila kerusakan pada mesin outdoor AC tidak dideteksi pada tahap permulaan dapat mengakibatkan kerusakan yang sangat parah dengan berbagai tipe kerusakan. Kerusakan mesin unit outdoor AC yang tidak terdeteksi dapat mengakibatkan tidak berfungsinya fungsi utama dari AC itu sendiri (tidak menyejukan atau menjadi tidak nyaman) yang tentunya menyebabkan hilangnya produktifitas akibat perbaikan yang cukup lama, biaya pemeliharaan yang besar akibat banyaknya komponen yang harus diganti, dan kerugian berkurangnya produktifitas kerja dan aktifitas karena ketidak nyamanan atas kondisi lingkungan yang ada, seharusnya hal ini bisa dihindari dengan sistem Condition Monitoring (Pemantauan Kondisi) mesin unit outdoor AC yang diterapkan pada mesin tersebut.

Pemantauan kondisi adalah suatu sistem yang dibuat untuk proses memonitor kondisi mesin agar kita bisa mengetahui kondisi sebenarnya yang terjadi pada mesin apakah dalam kondisi baik, kondisi tidak baik (rusak) serta kondisi dimana terjadi kerusakan awal. Pengetahuan terhadap kondisi mesin akan sangat membantu untuk menentukan umur mesin outdoor AC tersebut serta tindakan yang perlu dilakukan, misalnya penggantian komponen. Salah satu prinsip dalam dunia maintenance adalah : “kerusakan terburuk adalah kerusakan yang kita tidak siap untuk menghadapinya”. Dengan melakukan pemantauan kondisi, diharapkan pemilik atau pemakai dapat merencanakan tindakan lebih lanjut sehingga dapat menghindarkan terjadinya perbaikan dan pergantian komponen yang tidak perlu.[6]

## 1.2 Kerusakan Pada Unit Outdoor Air Conditioning (AC)

Kerusakan atau masalah yang seringkali terjadi pada unit outdoor AC yaitu, Kompresor (biasa di sebut dengan OverLoad), Kondensor, Motor Blower (Fan), Capacitor Compressor, dan Capacitor Motor Blower (Fan). Komponen tersebut di atas pada umumnya terdapat pada unit outdoor AC 12000 BTU/h (biasa di sebut dengan 1.5 PK) kebawah, dan untuk komponen outdoor AC 12000 BTU/h (1.5 PK) ke atas seperti 18000 BTU/h (2 PK) ada sedikit perbedaan pada komponen dalam unit outdoor AC.

Kapasitas AC dengan berdasarkan PK:

\* AC ½ PK = ±5.000 BTU/h

\* AC ¾ PK = ± 7.000 BTU/h

\* AC 1 PK = ± 9.000 BTU/h

\* AC 1½ PK = ±12.000 BTU/h

\* AC 2 PK = ±18.000 BTU/h

Pada unit outdoor terdapat komponen yang saya sebutkan di atas tadi adalah yang seringkali mengalami kerusakan adalah **Capasitor Compressor**, dan **Capasitor Motor Blower (Fan)** sering kali terjadi pada saat perbaikan unit outdoor AC, sebab jika kedua komponen tersebut mengalami kerusakan maka akibatnya Compressor tidak bisa beroperasi dan akan menimbulkan efek kerusakan pada komponen Compressor tersebut jika tidak secepatnya di ganti dengan spare part yang baru, bagi pengguna atau pemakai AC jika tiba-tiba unit AC Anda mengalami gejala yang tidak seperti biasanya atau tidak dingin seperti biasanya di usahakan jangan di nyalakan atau di operasikan.[5]

## 1.3 Deteksi Kerusakan Pada Unit Outdoor AC

Pada beberapa kasus, AC beroperasi secara normal. Namun, udara sejuk atau dingin tidak dapat dirasakan, hanya embusan angin yang berasal dari blower (indoor).

Gangguan yang terjadi pada AC tidak lepas dari tiga hal, yaitu AC tidak dingin, mengeluarkan suara berisik atau terjadi kebocoran di perangkat indoor. Yang paling mengesalkan tentu jika AC tidak lagi mengembuskan udara dingin. Tapi suara bising yang keluar dari perangkat indoor juga cukup mengganggu

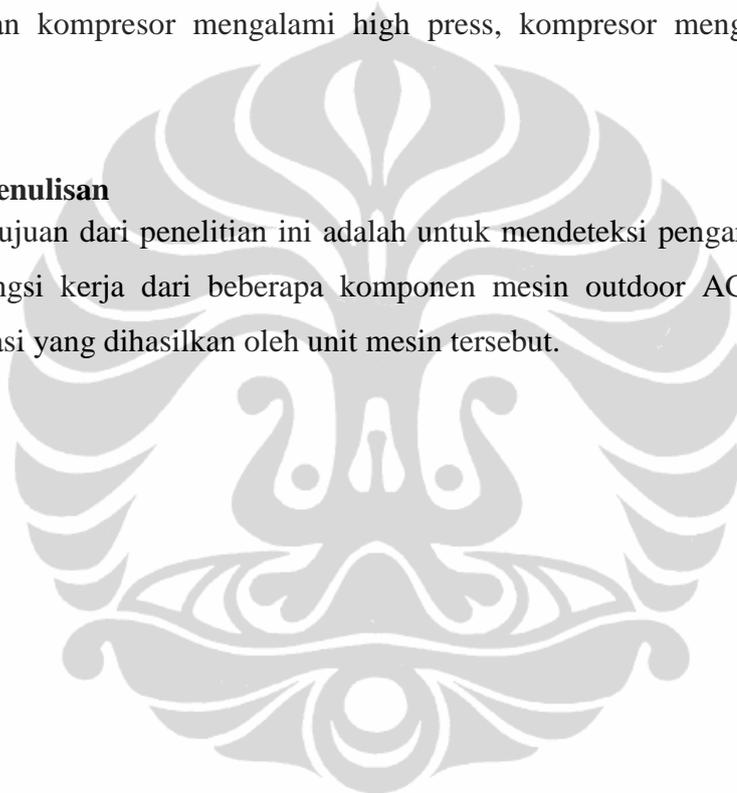
kenyamanan tidur dan kebocoran air benar-benar merepotkan karena mengotori ruangan dan bisa merusak dinding ruangan.[9]

#### **1.4 Batasan Masalah**

Penelitian ini menggunakan unit outdoor AC merk Sharp tipe AU-A5EY2, Hal yang diteliti adalah vibrasi mekanik yang dihasilkan pada unit outdoor AC tersebut sehingga didapatkan frekuensi sumber vibrasi yang mengindikasikan terjadinya kekurang optimalan fungsi kerja mekanik dari beberapa komponen, dengan keadaan kompresor mengalami high press, kompresor mengalami low press.

#### **1.5 Tujuan penulisan**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendeteksi pengaruh ketidak optimalan fungsi kerja dari beberapa komponen mesin outdoor AC tipe split terhadap vibrasi yang dihasilkan oleh unit mesin tersebut.



## BAB 2

### PEMANTAUAN KONDISI MESIN DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK VIBRASI

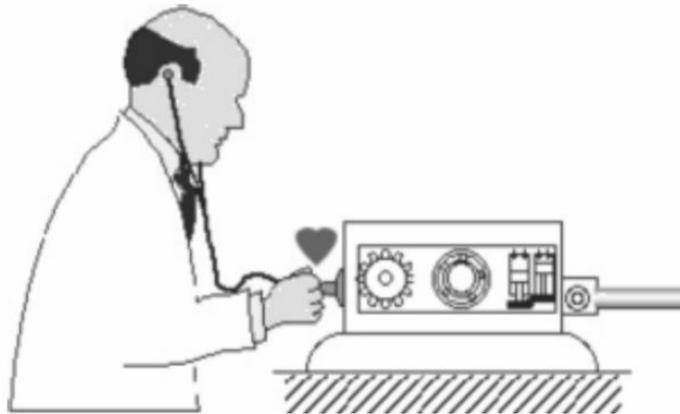
#### 2.1 Prinsip Pemantauan Kondisi

Pemeliharaan prediktif pada dasarnya adalah pemeliharaan preventif kondisi-driven. Dalam hal ini, statistik hidup rata-rata suatu industri atau *in-plant* tidak digunakan untuk mengatur kegiatan pemeliharaan. Pemeliharaan prediktif memantau kondisi mekanis, efisiensi peralatan dan parameter lainnya serta upaya untuk menurunkan perkiraan waktu kegagalan fungsional.

Sebuah program pemeliharaan prediktif yang komprehensif menggunakan kombinasi dari alat hemat biaya untuk mendapatkan kondisi operasi yang aktual pada peralatan dan sistem pabrik. Jadwal pemeliharaan dipilih atas dasar data-data yang telah dikumpulkan.

Pemeliharaan prediktif menggunakan berbagai teknik seperti analisis getaran, analisis minyak dan analisis yang memakai *debris*, ultrasonik, Thermografi, evaluasi kinerja dan teknik lainnya untuk menilai kondisi peralatan.

Teknik pemeliharaan prediktif sebenarnya memiliki analogi yang sangat dekat dengan teknik diagnostik medis. Setiap kali tubuh manusia memiliki masalah, maka akan timbul gejalanya. Sistem saraf menyediakan informasi ini sama dengan tahap deteksi. Selain itu, tes patologis dilakukan untuk mendiagnosis masalah jika diperlukan. Atas dasar ini, direkomendasikanlah untuk memberikan perawatan yang tepat. (lihat Gambar 2.1).



Gambar 2.1

Ilustrasi seorang teknisi sedang melakukan Condition Monitoring [7]

Dengan cara yang sama, cacat yang terjadi pada mesin selalu menunjukkan gejala dalam bentuk getaran atau beberapa parameter lainnya. Namun, sistem mesin dengan persepsi manusia belum tentu mudah terdeteksi.

Di sinilah teknik pemeliharaan prediktif dapat membantu. Teknik-teknik ini mendeteksi gejala kecacatan yang terjadi pada mesin dan membantu mendiagnosa kecacatan yang telah terjadi. Dalam banyak kasus, memperkirakan keparahan dari kecacatan juga memungkinkan untuk dilakukan.

Teknik khusus yang digunakan tergantung pada kondisi jenis mesin yang akan dideteksi, sehingga sesuai dengan hasil dan tujuan yang ingin dicapai yaitu memonitoring kondisi optimal dari mesin. Pelaksanaan monitoring pun hendaknya tidak mengganggu proses produksi yang sedang berjalan, karena apabila terganggu maka ketidak efisien dari proses yang dilakukan akan terjadi.

## 2.2 Indikasi Palsu

Perubahan getaran mesin dapat mengakibatkan dari sejumlah penyebab yang belum tentu terkait dengan kerusakan mesin. Misalnya, perubahan kecepatan mesin atau perubahan pada beban pada mesin sangat dapat memodifikasi amplitudo relatif dari berbagai komponen getaran pada lokasi transduser tetap atau dapat memodifikasi pola relatif getaran pada lokasi yang berbeda. Tergantung pada kriteria yang digunakan untuk mendeteksi kesalahan, perubahan tersebut dapat menghasilkan indikasi palsu kerusakan mesin. Tepat pemilihan teknik yang digunakan dan / atau tingkat alarm dapat mencegah alarm palsu tersebut.[4]

### 2.3 Kerusakan Mesin

Secara umum sebuah mesin dioperasikan sampai batas operasi yang dianjurkan penggunaannya, Batas operasi yang dianjurkan sebuah mesin atau kondisi operasi dari suatu mesin dirancang untuk digunakan dalam batas penggunaan yang masih aman dan untuk memastikan bahwa komponen pendukung pada spesifikasi mesin tidak terlampaui. Batas operasi biasanya ditetapkan untuk mengoptimalkan kualitas produk dan mengurangi beban kerja pada mesin. Secara umum, ini berarti bahwa sebuah mesin akan beroperasi pada batas kecepatan operasi tertentu. Definisi ini mencakup kerja mesin pada kondisi steady-state (kecepatan konstan) dan kerja mesin pada kecepatan yang berubah-ubah, dimana mesin dapat bekerja pada keadaan kecepatan geraknya ditingkatkan tetapi masih dalam batasan operasi yang ada pada spesifikasi produk. Pada keadaan tertentu sebuah mesin bisa bekerja dalam kondisi melampaui batas yang diijinkan tetapi pada rentan waktu yang sangat singkat, seperti pada keadaan baru mulai (start-up), keadaan mematikan mesin (Shut-down), mesin dalam keadaan kelebihan beban (Overload).

Alasan utama menggunakan perlengkapan pemantauan kondisi dan diagnosa kerusakan adalah untuk mendapatkan keakuratan informasi kuantitatif pada kondisi mesin saat ini. Informasi yang bisa didapatkan adalah sebuah keputusan akan baik tidaknya kondisi dari mesin berdasarkan kondisi sebenarnya dari mesin itu. Setelah kita mendapatkan informasi yang dibutuhkan dari peralatan pemantau kondisi maka akan dapat menjawab pertanyaan-pertanyaan atas beberapa manfaat dari pemantauan kondisi suatu mesin, diantaranya :

- Apakah mesin dapat bekerja pada muatan atau beban yang berlebih?
- Apakah mesin sudah harus dilakuakn perawatan sekarang atau nanti?
- Perawatan yang bagaimanakah yang seharusnya dilakukan pada mesin tersebut?
- Kapanakah akan terjadinya kerusakan pada mesin?
- Bagaimanakah bentuk penyelesaian yang harus dilakukan bila mengalami kesalahan pada suatu mesin?

Kerusakan pada mesin dapat didefinisikan sebagai ketidakmampuan sebuah mesin untuk menjalankan fungsi kerjanya. Kerusakan yang terjadi biasanya terjadi

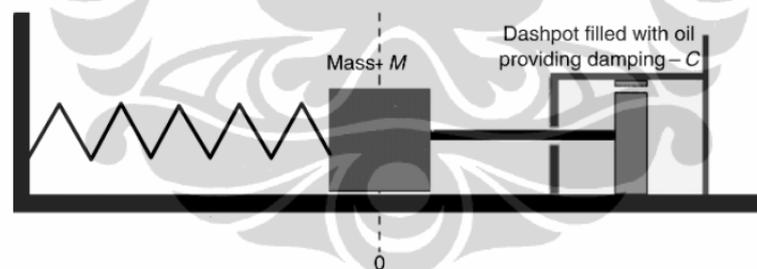
hanya pada beberapa komponen dalam dari suatu unit mesin. Sebagai contoh, bearing yang terdapat pada conveyor belt bekerja mungkin rusak atau aus, tapi selama bantalan tidak diambil bearing tersebut masih bisa berfungsi. mesin lainnya tidak dapat mentolerir kondisi kerusakan operasi tersebut.[5]

## 2.4 Teori Dasar Kerusakan mesin

### 2.4.1 Sistem Massa-Pegas: massa, kekakuan, redaman

Sebuah pemahaman dasar tentang bagaimana sistem massa-pegas sederhana merespon kekuatan eksternal dapat membantu dalam memahami, mengenali dan memecahkan berbagai masalah yang dihadapi dalam pengukuran dan analisis getaran.

Pada gambar 2.2 memperlihatkan sebuah sistem massa-pegas. Massa  $M$  terpasang pada sebuah pegas dengan kekakuan  $k$ . Bagian depan massa  $M$  melekat ke piston dengan lubang kecil di dalamnya. Piston slide tersebut melalui wadah yang diisi dengan minyak. Piston berlubang geser melalui wadah yang dipenuhi minyak disebut sebagai sebuah mekanisme *dashpot* dan memiliki prinsip yang mirip dengan *shock absorber* pada mobil.



Gambar 2.2 Sistem Massa-Pegas

Bila bila gaya luar  $F$  bergerak ke depan massa  $M$ , maka akan terjadi :

1. Pegas ditarik
2. Minyak dari depan piston bergerak ke belakang melalui pembukaan kecil.

Kita dapat dengan mudah memvisualisasikan bahwa gaya  $F$  harus terdiri dari tiga hal:

1. Inersia massa ( $M$ )
2. Kekakuan pegas ( $k$ ).

3. Karena dipaksa, aliran minyak berlawanan dari depan ke belakang atau piston, dengan kata lain,  $C$  merupakan faktor redaman (damping) mekanisme *sockbreker*.

Semua mesin memiliki tiga sifat dasar yang bergabung untuk menentukan bagaimana mesin akan bereaksi terhadap kekuatan-kekuatan yang menyebabkan getaran-getaran, seperti massa-pegas sistem. Ketiga sifat mendasar tersebut adalah:

- (A) Mass ( $M$ )
- (B) Kekakuan ( $k$ )
- (C) Redaman ( $C$ ).

Sifat tersebut adalah ciri yang melekat pada mesin atau struktur dengan yang akan menolak atau menentang getaran.

- a. Massa: Massa merupakan inersia tubuh untuk tetap dalam keadaan aslinya saat istirahat atau bergerak. Sebuah mencoba membawa perubahan dalam keadaan istirahat atau bergerak, yang ditentang oleh massa. Hal ini diukur dalam kg.
- b. Kekakuan: Ada tertentu yang diperlukan untuk membengkokkan atau membelokkan struktur dengan jarak tertentu. Ini mengukur yang diperlukan untuk memperoleh tertentu defleksi disebut kekakuan. Hal ini diukur dalam  $N/m$ .
- c. Redaman: Setelah menetapkan bagian atau struktur ke dalam gerakan, bagian atau struktur akan memiliki mekanisme inheren untuk memperlambat gerak (kecepatan). Karakteristik untuk mengurangi kecepatan gerak disebut redaman. Hal ini diukur dalam  $N/m$ .

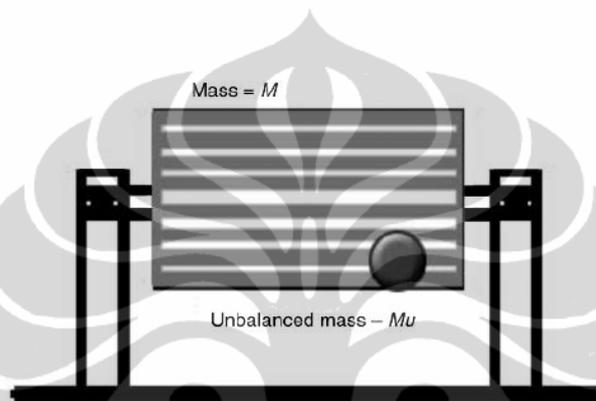
Sebagaimana disebutkan di atas, efek gabungan untuk menahan pengaruh kekuatan karena massa, kekakuan dan redaman menentukan bagaimana system akan merespon yang diberikan kekuatan eksternal. Sederhananya adalah cacat pada mesin menimbulkan gerakan getaran. Massa, kekakuan dan redaman mencoba untuk melawan getaran yang disebabkan oleh cacat. Jika getaran akibat cacat jauh lebih besar dari jumlah bersih yang menahan tiga karakteristik tersebut, jumlah getaran yang dihasilkan akan lebih tinggi dan cacat dapat terdeteksi.

### 2.4.2 Sistem Responsif

Pertimbangkan sebuah sistem rotor (Gambar 2.3) yang memiliki massa  $M$  didukung antara dua bantalan.  $M$  massa rotor diasumsikan sebagai yang terkonsentrasi antara bantalan didukung; itu berisi ketidakseimbangan massa ( $M_u$ ) yang terletak pada radius  $r$  tetap dan berputar dengan kecepatan sudut  $\omega$ , dimana:

$$\omega = 2 \times \pi \times \frac{\text{rpm}}{60} \quad (2.1)$$

rpm = revolution per minute (putaran per menit)



Gambar 2.3 Sistem Respon Rotor

Getaran yang dihasilkan oleh ketidakseimbangan massa  $M_u$  diwakili oleh:

$$F_{(\text{ketidakseimbangan})} = M_u \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t) \quad (2.2)$$

dimana

$t$  = waktu dalam detik.

Gaya yang menahan dihasilkan oleh tiga karakteristik system tersebut adalah:

$$M \times (a) + C \times (v) + k \times (d) \quad (2.3)$$

dimana

$a$  = percepatan

$v$  = kecepatan

$d$  = perpindahan.

Jika sistem berada dalam kesetimbangan, dua kekuatan yang sama dari persamaan tersebut dapat dituliskan:

$$M_u \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega) = M \times (a) + C \times (v) + k \times (d) \quad (2.4)$$

Namun, pada kenyataannya gaya menahan tidak bekerja secara erat. Dengan perubahan kondisi, satu faktor dapat meningkatkan sementara yang lain dapat menurun. Hasil bersih dapat menampilkan variasi jumlah gaya tersebut. Hal ini

pada gilirannya bervariasi respon sistem (tingkat getaran) untuk menarik gaya (cacat seperti ketidakseimbangan yang menghasilkan getaran). Dengan demikian, getaran yang disebabkan oleh ketidakseimbangan akan lebih tinggi jika faktor jumlah bersih di sisi kanan persamaan kurang dari ketidakseimbangan kekuatan. Dalam cara yang sama, ada kemungkinan bahwa seseorang tidak mungkin mengalami getaran sama sekali jika jumlah bersih dari faktor sisi kanan menjadi jauh lebih besar daripada ketidakseimbangan kekuatannya. [7]

## **2.5 Perubahan Spektrum Vibrasi berhubungan dengan Kondisi Suatu Mesin**

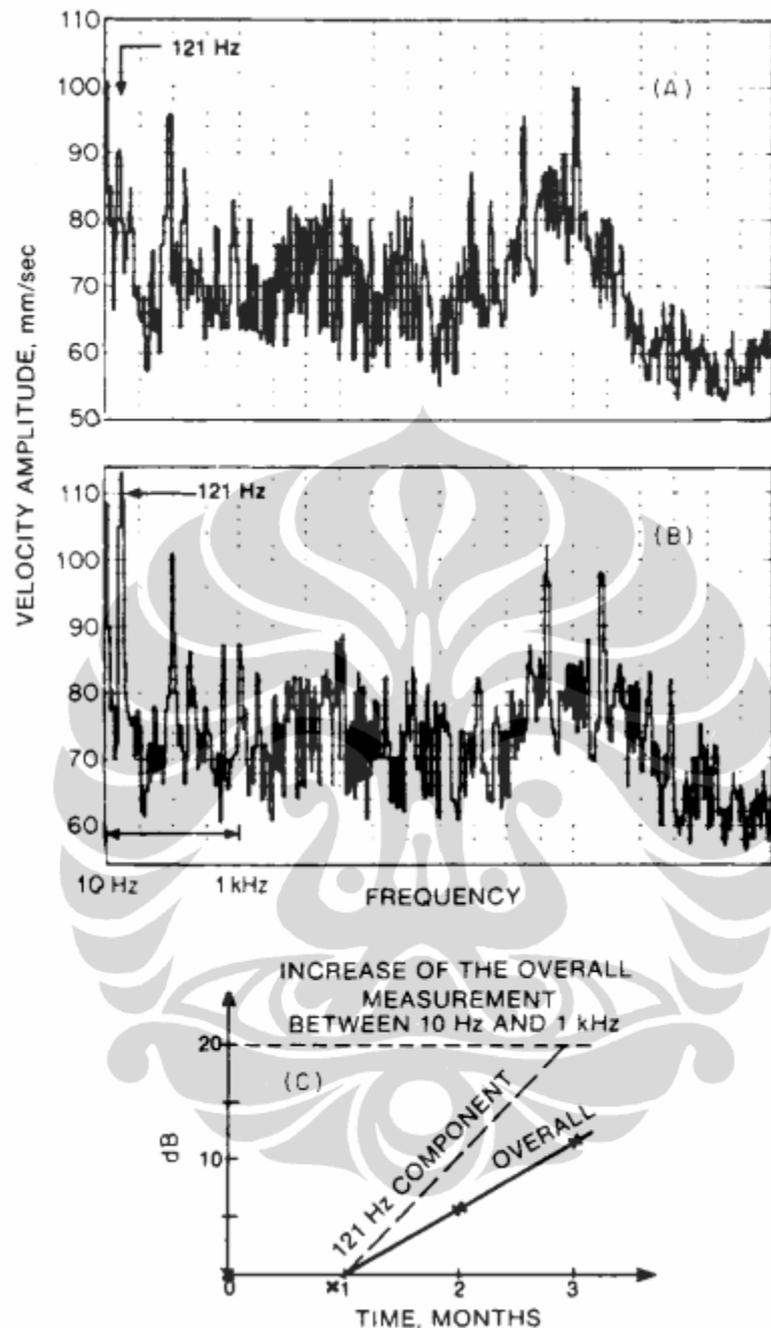
Untuk mendapatkan informasi tentang perubahan kondisi mesin, spektrum getaran harus dibandingkan hanya untuk kondisi operasi yang sama. Pengaruh kondisi operasi dari mesin (seperti kecepatan mesin, beban, dan temperatur) pada parameter getaran yang diukur sangat bervariasi untuk berbagai jenis mesin. Perubahan kecepatan hingga 10 persen biasanya dapat dikompensasikan, dan spektrum dapat dibandingkan. Jika perubahan kecepatan lebih besar dari nilai ini, kondisi operasional mesin harus dianggap berbeda dan spektrum referensi baru digunakan sebagai dasar perbandingan. Spektrum referensi tidak harus diukur ketika mesin baru (setelah memungkinkan untuk menjalankan-pada periode). Referensi spektrum dapat ditentukan pada setiap saat selama hidup mesin asalkan getaran stabil, karena spektrum stabil adalah tanda operasi mesin stabil. Kesulitan utama adalah untuk membangun ketika perubahan dalam spektrum yang cukup besar untuk surat perintah menghentikan mesin.

Secara umum standar nasional dan internasional untuk pengukuran getaran gempa tidak menganggap spektrum frekuensi, tapi mereka memberikan nilai untuk perubahan getaran nilai rms dari keseluruhan kecepatan amplitudo 1-10 Hz (atau 10.000 Hz) untuk mesin di baik dan buruk kondisi. Rasio ini telah berhasil telah ditransposisikan pada komponen karakteristik dalam spektrum getaran seperti unbalance atau misalignment. Biasanya, perubahan amplitudo getaran seismik (diukur dalam hal percepatan, kecepatan, atau perpindahan) pada setiap komponen karakteristik dari spektrum dengan faktor 2 sampai 2.5 (6-8 dB di tingkat getaran) dianggap signifikan; perubahan oleh faktor dari 8 sampai 10 (18-20 dB di tingkat getaran) dianggap penting, kecuali disebutkan sebaliknya oleh

produsen. Batas untuk pengukuran getaran poros, memberikan gerakan relatif dari bantalan poros di dalam, langsung berhubungan dengan clearance bantalan fisik dalam mesin. Interval waktu yang dibutuhkan antara pengukuran sangat bervariasi dari satu komputer ke komputer lain dan tergantung langsung pada waktu yang berarti diharapkan antara kegagalan dan tingkat kerusakan kegagalan yang diharapkan, karena itu, pengukuran harus dilakukan lebih sering segera setelah kerusakan baru jadi adalah melihat.

kesalahan deteksi Sukses di mesin adalah langkah pertama menuju program pemantauan kondisi sukses. Pengakuan awal kerusakan adalah kunci untuk diagnosis kesalahan berharga dan efisien analisis kecenderungan. Akibatnya, fase pemantauan kondisi tidak boleh diabaikan, meskipun kadang-kadang mungkin tampak membosankan.

Trend analisis dilakukan pada keseluruhan pengukuran dan pada komponen individual. Pada gambar 2.4 kecepatan spektrum getaran diukur pada gearbox setelah instalasi. Catatan amplitudo komponen tinggi 480 Hz, mendominasi spektrum referensi. Spektrum kecepatan tiga bulan kemudian. Catatan peningkatan dramatis dalam komponen 121 Hz, yang sesuai dengan kecepatan poros output gearbox. Kurva membandingkan peningkatan komponen 121-Hz dalam spektrum kecepatan; peningkatan kecepatan secara keseluruhan di band 1-10 Hz menunjukkan kesalahan berkembang.



Gambar 2.4 spektrum deteksi kerusakan mesin yang berotasi [4]

## 2.6 Interpretasi Spektrum dan Diagnosa kerusakan

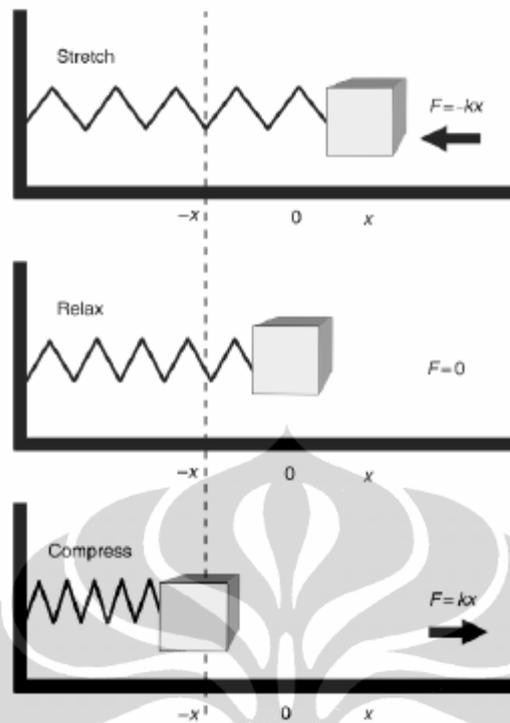
Komersial cepat tersedia komputer berbasis Fourier mengubah analisa menyediakan sebuah alat yang cocok untuk interpretasi spektrum. Mereka menyediakan bandwidth yang konstan (dalam skala frekuensi linear), dan, dengan cara zoom atau garis diperpanjang resolusi, mereka juga memberikan resolusi

sangat tinggi dalam rentang frekuensi bunga. Ini memungkinkan (1) pengenalan awal dan pemisahan pola harmonik atau pola sideband dan (2) pemisahan komponen individu dekat spasi. Fast Fourier Transform (FFT) analisa juga dapat menyediakan alat-alat diagnostik seperti waktu rata-rata sinkron, analisis cepstrum, analisis peakness, dan penggunaan transformasi Hilbert untuk demodulasi amplitudo dan fase.

## 2.7 Apakah Vibrasi itu

Sederhananya, getaran adalah gerakan bolak-balik dari mesin atau bagian-bagiannya dari keadaan diam. Contoh yang paling klasik adalah jika sebuah benda dengan massa  $M$  pada sebuah pegas dengan kekakuan  $k$  terpasang. Sampai suatu gaya diterapkan pada massa  $M$  dan menyebabkannya bergerak, maka tidak terdapat getaran.

Pada Gambar 2.5. Dengan memberikan gaya untuk massa, massa bergerak ke kiri, mengompresi pegas. Bila massa dilepaskan, bergerak kembali ke posisi netral nya dan kemudian merambat lebih lanjut ke kanan sampai ketegangan pegas menghentikan massa. Massa kemudian berbalik dan mulai merambat ke sebelah kiri lagi. Kemudian melintasi posisi netral dan mencapai batas kiri. Gerak ini secara teoritis dapat terus tanpa henti jika tidak ada redaman dalam sistem dan tidak ada efek eksternal (seperti gesekan). Gerakan ini disebut getaran sederhana.



Gambar 2.5 Vibrasi Sederhana [7]

### 2.7.1 Vibrasi Sederhana

Banyak yang bisa dipelajari tentang kondisi mesin dan kemungkinan adanya masalah mekanis dengan mencatat karakteristik getarannya. Kita sekarang dapat mempelajari karakteristik, yang mencirikan sinyal getaran.

Mengacu kembali ke benda pegas bermassa, kita dapat mempelajari karakteristik getaran dengan memetakan gerakan massa terhadap waktu. Plot ini ditampilkan pada Gambar 2.6.

Gerakan massa dari posisi netral sampai pada batas atas rambatan, dan kembali ke posisi yang netral, sampai pada batas bawah rambatan dan kembali lagi ke posisi netral merupakan satu putaran gerak. Putaran ini salah satu gerak yang berisi semua informasi penting untuk mengukur getaran dari sistem ini. Gerakan lanjutan suatu massa merupakan pengulangan putaran yang sama.

Gerakan ini disebut periodik dan harmonis, dan hubungan antara perpindahan massa dan waktu dinyatakan dalam bentuk persamaan sinusoidal:

$$X = X_0 \sin \omega t \quad (2.5)$$

$X$  = posisi pada saat waktu  $t$

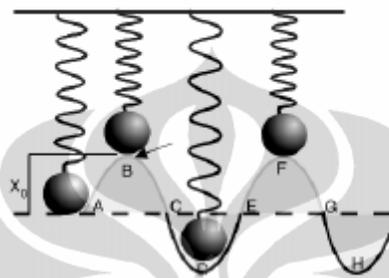
$X_0$  = Posisi Maksimum

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

f = frekuensi (Hz)

t = waktu (s)

FREQUENCY = 0.25 cycles/s ( $\omega$ ) = 15 cycles/min (cpm)					
PHASE	0	90	270	450	degrees
TIME	1	2	4	6	seconds



Gambar 2.6

Gelombang Harmonik Sederhana – perubahan gerak pegas terhadap waktu [7]

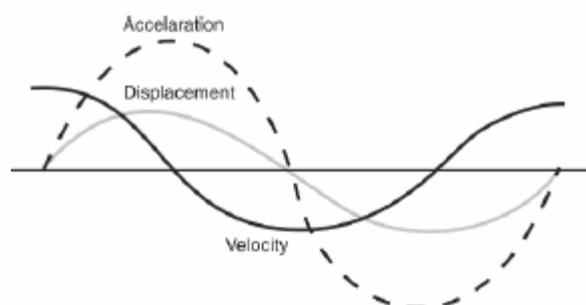
Karena massa bergerak naik dan turun, kecepatan rambatan mengubah kondisi nol ke maksimum. Kecepatan dapat diperoleh dengan waktu yang membedakan persamaan perpindahan:

$$\text{kecepatan} = \frac{dX}{dt} = X_0 \cdot \omega \cdot \cos \omega t \quad (2.6)$$

Demikian pula, percepatan massa juga bervariasi dan dapat diperoleh dengan membedakan persamaan kecepatan:

$$\text{percepatan} = \frac{d(\text{kecepatan})}{dt} = -X_0 \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t \quad (2.7)$$

Dalam Gambar 2.6: perpindahan ditampilkan sebagai kurva sinus, kecepatan, sebagai kurva kosinus; akselerasi lagi diwakili oleh sebuah kurva sinus.



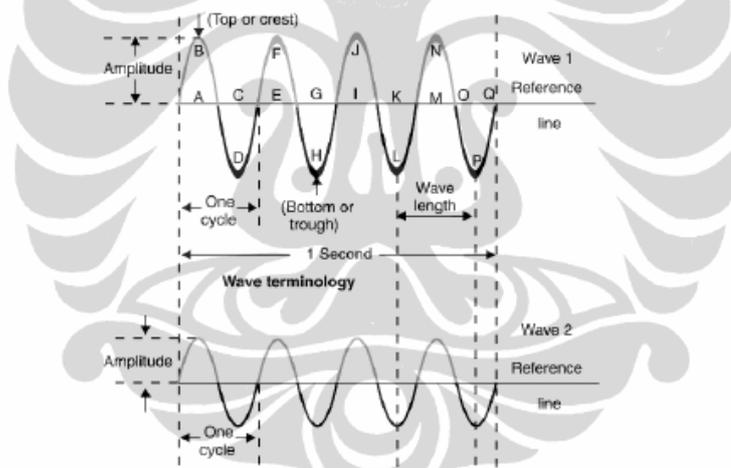
Gambar 2.7

Bentuk gelombang dari Percepatan, kecepatan dan perpindahan pada gerak harmonik sederhana [7]

## 2.7.2 Gelombang

Ketentuan seperti putaran, frekuensi, panjang gelombang, amplitudo dan fasa sering digunakan ketika menggambarkan bentuk gelombang. Saat ini kita akan membahas ketentuan tersebut dan hal yang berkaitan secara rinci karena untuk menggambarkan propagasi gelombang getaran. Kita juga akan membahas bentuk gelombang, harmonisasi, perubahan Fourier dan keseluruhan nilai getaran, karena semuanya merupakan konsep yang terhubung ke mesin diagnosa yang menggunakan analisis getaran.

Pada Gambar 2.8 gelombang 1 dan 2 memiliki frekuensi dan panjang gelombang yang setara tetapi berbeda pada amplitudonya. Garis referensi (garis perpindahan nol) adalah posisi di mana sebuah partikel materi seandainya tidak terganggu oleh gerakan gelombang.



Gambar 2.8  
Perbandingan beberapa gelombang dengan berbagai amplitudo [7]

## 2.7.3 Frekuensi (cycle)

Pada titik E, gelombang mulai terulang pada putaran kedua, yang dilengkapi pada titik I, putaran ketiga di titik M, dan sebagainya. Puncak-puncak pergantian positif (nilai maksimum di atas garis) kadang-kadang disebut sebagai puncak atau bukit, dan puncak-puncak yang pergantian negatif (nilai maksimum di bawah garis) disebut lembah atau palung, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7. Oleh karena itu, satu putaran memiliki satu puncak dan satu lembah.

#### 2.7.4 Panjang Gelombang

Panjang gelombang adalah jarak dalam ruang yang ditempati oleh satu putaran dari gelombang transversal pada saat tertentu. Jika gelombang dapat dibekukan dan diukur, panjang gelombang merupakan jarak dari ujung pusat dari satu putaran ke titik yang sesuai pada putaran berikutnya. Panjang gelombang bervariasi dari mulai dari beberapa ratus inci pada frekuensi sangat tinggi sampai bermil-mil pada frekuensi sangat rendah, tergantung pada mediumnya. Pada Gambar 2.8 (gelombang 1), jarak antara A dan E, atau B dan F, dan seterusnya, adalah satu panjang gelombang. Huruf Yunani  $\lambda$  (Lambda) umumnya digunakan untuk menunjukkan panjang gelombang.

#### 2.7.5 Amplitude

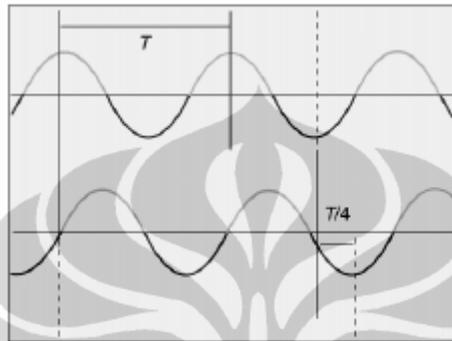
Dua buah gelombang mungkin memiliki panjang gelombang yang sama, tetapi salah satu puncak akan naik lebih tinggi di atas garis referensi dari puncak yang lain, misalnya untuk gelombang 1 dan 2 pada Gambar 2.8. Tinggi dari puncak gelombang atas garis referensi disebut amplitudo gelombang. Amplitudo gelombang memberikan indikasi relatif dari jumlah energi yang ditransmisikan oleh gelombang. Serangkaian gelombang terus menerus, seperti A sampai Q, memiliki amplitudo dan panjang gelombang yang sama, disebut kereta gelombang.

#### 2.7.6 Frekuensi dan Waktu

Ketika kereta gelombang melewati sebuah medium, sejumlah tertentu dari gelombang individu melewati titik tertentu untuk unit waktu tertentu. Misalnya, jika sebuah gabus pada gelombang air naik dan turun satu kali setiap detik, gelombang membuat satu getaran turun naik per detik. Jumlah getaran, atau putaran, dari kereta gelombang dalam satuan waktu disebut frekuensi kereta gelombang dan diukur dalam hertz (Hz). Jika lima gelombang melewati sebuah titik dalam satu detik, frekuensi kereta gelombang sama dengan lima putaran per detik. Dalam Gambar 2.8 frekuensi dari kedua gelombang 1 dan 2 adalah empat putaran per detik (putaran per detik disingkat sebagai cps).

### 2.7.7 Fase

Jika kita melihat dua gelombang seperti digambarkan di Gambar 2.9 kita menemukan bahwa gelombang identik dalam amplitudo dan frekuensi tetapi jarak  $T/4$  offset puncak-puncak gelombang. Kelambatan waktu ini disebut fase lambat dan diukur dengan sudut fase.



Gambar 2.9  
Hubungan fase dengan 2 bentuk gelombang yang sama [7]

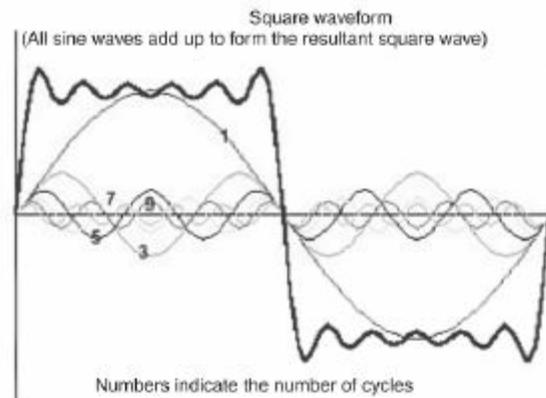
Sebuah keterlambatan waktu  $T$  adalah sudut fase dari  $360^\circ$ , sehingga jeda waktu  $T/4$  akan menjadi sudut fase  $90^\circ$ . Dalam kasus ini kita biasanya akan menggambarkan dua gelombang sebagai keluar dari fase sebesar  $90^\circ$ .

### 2.7.8 Bentuk Gelombang

Perpindahan, kecepatan dan percepatan sistem pegas-massa dalam gerakan dapat digambarkan oleh gelombang sinus dan kosinus. Bentuk gelombang adalah representasi visual (atau grafik) dari nilai sesaat sebuah gerak yang dipetakan terhadap waktu.

### 2.7.9 Harmonik

Gambar 2.10 menggambarkan bentuk-bentuk gelombang yang menarik. Mari kita menganggap perpindahan diwakili oleh sumbu  $Y$ . Karena gambar grafik tersebut merupakan representasi terhadap waktu, sumbu- $X$  akan menjadi skala waktu 1 s.



Gambar 2.10  
Beberapa angka yang menunjukkan jenis cycles [7]

- Gelombang pertama yang harus kita amati adalah gelombang [1] . Hal ini diwakili oleh satu putaran. Sebagai skala waktu adalah 1 s, ia memiliki frekuensi 1 Hz.
- Gelombang berikutnya untuk dipertimbangkan adalah gelombang [3] . Hal ini dapat dilihat bahwa ia memiliki tiga putaran pada periode yang sama dari gelombang pertama. Jadi, ia memiliki frekuensi 3 Hz.
- Ketiga adalah gelombang [5] . Berikut lima putaran dapat ditelusuri, dan tentunya memiliki frekuensi 5 Hz.
- Berikutnya adalah gelombang [7]. Ia memiliki tujuh putaran dan oleh karena itu frekuensi menjadi 7 Hz.
- Gelombang [9] adalah berikutnya dengan sembilan putaran dan akan memiliki frekuensi sebesar 9 Hz.

Dengan cara ini suatu rangkaian ganjil (1,3,5,7,9 ...) dari gelombang dapat diamati pada gambar. Rangkaian seperti ini disebut harmonisasi ganjil frekuensi fundamental.

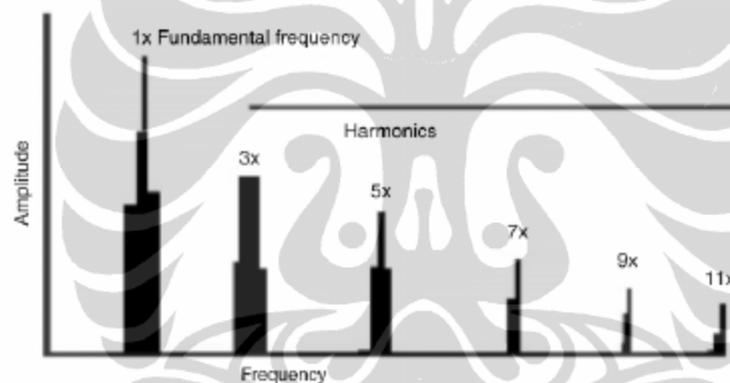
Jika kita melihat bentuk gelombang dengan frekuensi 1,2,3,4,5. . . Hz, maka gelombang tersebut akan berharmonisasi dari gelombang pertama 1 Hz. Gelombang pertama dari rangkaian biasanya ditunjuk sebagai gelombang dengan frekuensi fundamental.

Berdasarkan gambar, perlu dicatat bahwa jika bentuk gelombang fundamental dengan harmonisasi ganjil ditambahkan, resultan gelombang yang terlihat pada gambar akan seperti bentuk gelombang persegi yang lebih kompleks.

Jika serangkaian bentuk gelombang sinusoidal dapat ditambahkan untuk membentuk sebuah gelombang kompleks, dan sebaliknya. Hal ini mungkin dan ini merupakan teknik yang digunakan secara luas disebut transformasi Fourier. Ini adalah operasi matematis yang ketat, yang mengubah bentuk gelombang dari domain waktu ke domain frekuensi dan sebaliknya.

### 2.7.10 Analisis Fourier

Analisis Fourier adalah istilah lain dari transformasi bentuk gelombang waktu (Gambar 2.11) ke dalam spektrum frekuensi terhadap nilai amplitudo. Analisis Fourier disebut juga sebagai analisis spektrum, dan dapat dilakukan dengan Fast Fourier Transform (FFT) analyzer.



Gambar 2.11  
Transform fourier dari bentuk gelombang persegi [5]

### 2.7.11 Perpindahan, kecepatan, percepatan – mana yang harus digunakan

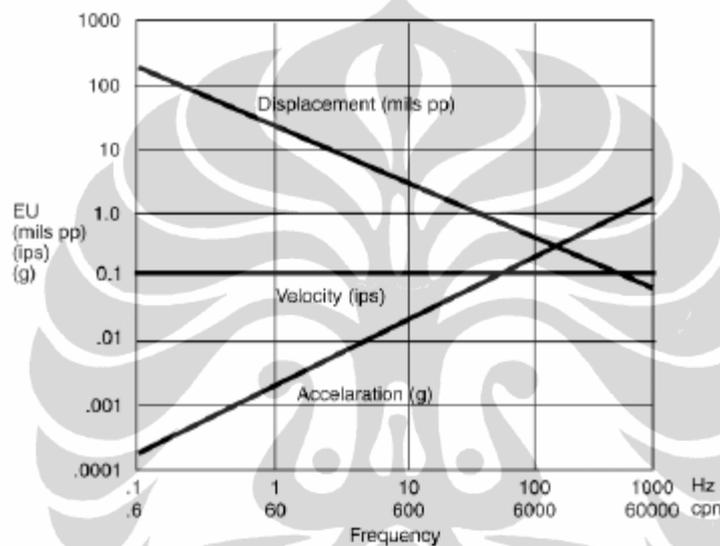
Karakteristik perpindahan, kecepatan dan percepatan getaran diukur untuk menentukan tingkat keparahan getaran dan ini sering disebut sebagai amplitudo getaran.

Dalam hal pengoperasian mesin, amplitudo getaran adalah indikator pertama yang menunjukkan seberapa baik atau buruk kondisi mesin. Secara umum, lebih semakin besar amplitudo getaran maka semakin besar pula tingkat kerusakan mesin.

Setelah amplitudo getaran dapat berupa perpindahan, kecepatan atau percepatan,

yang menjadi pertanyaan adalah, *parameter apa yang harus digunakan untuk memantau kondisi mesin?*

Hubungan antara percepatan, kecepatan dan perpindahan terhadap amplitudo getaran dan kesehatan mesin mengubah pengukuran dan teknik analisis data yang harus digunakan. Gerakan di bawah 10 Hz (600 cpm) menghasilkan akselerasi getaran yang sangat kecil, kecepatan getaran moderat dan perpindahan getaran yang relatif besar (lihat Gambar 2.12). Oleh karena itu, perpindahan digunakan dalam rentang ini.



Gambar 2.12

Hubungan antara perpindahan, kecepatan, dan percepatan dengan kecepatan konstan

Dalam rentang frekuensi tinggi, nilai percepatan menghasilkan nilai yang lebih signifikan dari kecepatan atau perpindahan. Oleh karena itu, untuk lebih dari 1000 frekuensi Hz (60 kcpm) atau 1500 Hz (90 kcpm), unit pengukuran getaran adalah percepatan.

Hal ini berlaku umum bahwa antara 10 Hz (600 cpm) dan 1000 Hz (60 kcpm) kecepatan memberikan indikasi yang baik dari tingkat keparahan getaran, Dan di atas 1000 Hz (60 kcpm), percepatan adalah satu-satunya indikator yang baik. Karena mayoritas mesin berputar umum (dan kecacatannya) beroperasi di kisaran 1-10 Hz, kecepatan umumnya digunakan untuk mengukur getaran dan analisis.

## 2.8 Pemanfaatan Labview

Kemampuan untuk memonitor getaran lingkungan sangat penting baik dari sudut pandang penelitian maupun dalam aplikasi industri seperti kontrol adaptif, pemantauan kondisi, optimasi proses dan pengendalian mutu.

Sampai saat ini, telah dilakukan penelitian di bidang analisis lingkungan getaran mekanik, alat pemantau dan lain-lain control. Misalnya, ada kecenderungan yang sedang berkembang untuk menentukan batas-batas getaran konstruksi dalam nilai ambang batas dan nilai batas. Nilai ambang batas adalah tingkat getaran dimana terdapat ketidakpastian mengenai gangguan dan nilai pembatas tingkat getaran di atas yang kemungkinan merupakan gangguan. Nilai-nilai ini sering digunakan dalam spesifikasi konstruksi untuk mengontrol frekuensi pelaporan dan pelaksanaan remedial dan mengurangi tindakan. [1]

## 2.9 Bentuk Analisis

Getaran data diplot sebagai amplitudo terhadap waktu disebut sebagai profil data domain-waktu. Plot domain-waktu harus digunakan untuk semua mesin gerak linier dan gerak maju-mundur. Teknik ini berguna dalam analisis keseluruhan dari mesin untuk mempelajari perubahan kondisi operasi. Namun, data domain waktu sulit untuk digunakan. Karena semua getaran data dalam jenis plot ditambahkan untuk mewakili perpindahan total pada suatu waktu, sulit untuk menentukan kontribusi sumber getaran tertentu.

Dari titik awal praktis, fungsi getaran yang harmonis dihubungkan pada frekuensi lingkaran dari sebuah putaran atau komponen bergerak.

Oleh karena itu, frekuensi ini adalah beberapa beberapa dasar yang menjalankan kecepatan kereta-mesin, yang dinyatakan dalam revolusi per menit (rpm) atau putaran per menit (cpm). Menentukan frekuensi ini adalah langkah dasar pertama dalam menganalisis kondisi operasi kereta-mesin.

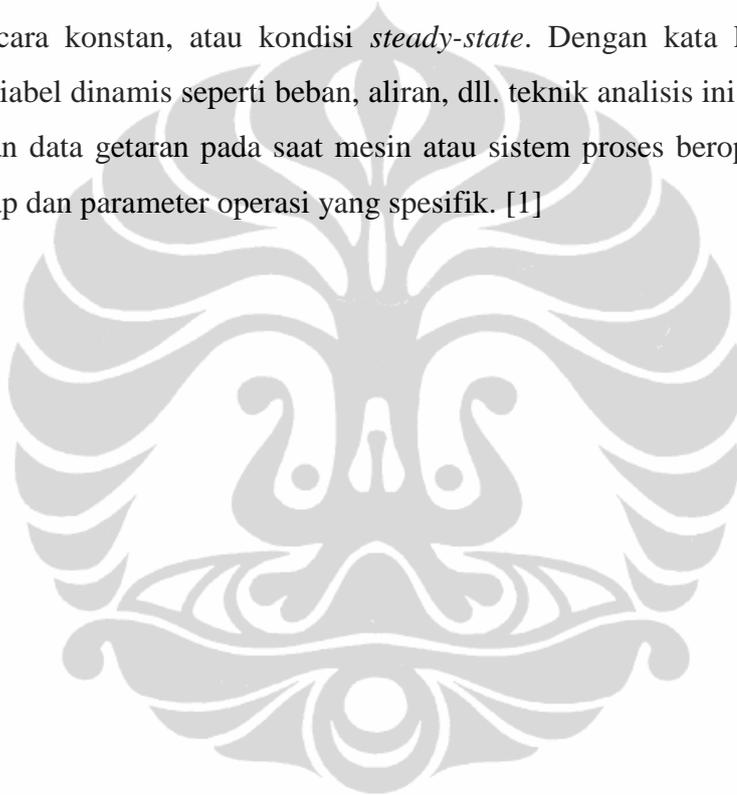
Data domain-frekuensi diperoleh dengan mengkonversi data domain-waktu menggunakan Fast Fourier Transform (FFT). FFT memungkinkan setiap komponen getaran suatu spektrum kereta mesin kompleks yang akan ditampilkan sebagai puncak frekuensi diskrit.

Kunci untuk menggunakan analisis tanda getaran untuk pemeliharaan prediktif, diagnostik, dan aplikasi lainnya adalah kemampuan untuk membedakan antara profil getaran normal dan abnormal.

Format domain-frekuensi mengeliminasi upaya manual yang membutuhkan yang harus mengisolasi komponen yang membuat waktu jejak.

Data dari kedua domain-waktu dan domain-frekuensi dapat diperoleh dan dianalisis dalam dua format utama: (1) *steady state* atau (2) dinamis.

Data getaran *Steady-state* menganggap kereta-mesin atau sistem proses beroperasi secara konstan, atau kondisi *steady-state*. Dengan kata lain, mesin bebas dari variabel dinamis seperti beban, aliran, dll. teknik analisis ini didasarkan pada perolehan data getaran pada saat mesin atau sistem proses beroperasi pada kecepatan tetap dan parameter operasi yang spesifik. [1]



## BAB 3

### INSTRUMENTASI VIBRASI

Gerak dalam fisika atau gerak suatu mesin berputar mengacu pada getarannya. Karena frekuensi getaran dan amplitudo tidak dapat diukur melalui pengamatan atau sentuhan, sebuah alat harus digunakan untuk mengkonversi getaran ke dalam produk yang dapat digunakan yang dapat diukur dan dianalisa. Fisika elektronik, mekanik, dan kimia dalam hal ini saling berhubungan. Karena itu, sangatlah logis jika konversi getaran mekanika ke dalam sinyal elektronik menjadi solusi yang terbaik. Alat pengkonversi getaran mekanis ke dalam sinyal elektronik disebut *transducer*. Output transducer berbanding lurus dengan seberapa cepat mesin bergetar (frekuensi) dan berapa banyak mesin bergetar (amplitudo). Frekuensi menjelaskan masalah apa yang terjadi pada mesin dan amplitudo menjelaskan tingkat keparahan masalah yang terjadi pada mesin tersebut. [11]

#### 3.1 Transducer MEMS Accelerometer

Micro Electronic Mechanical System (MEMS) teknologi merupakan salah satu daerah yang paling menarik dari studi. Prinsip-prinsip teknologi MEMS didasarkan pada sifat mekanik silikon untuk menciptakan struktur bergerak. Dikombinasikan dengan mikroelektronik, sinyal yang dihasilkan oleh struktur bergerak memberikan sinyal keluaran untuk membuat yang baru generasi sensor. accelerometer MEMS adalah perangkat elektromekanis yang akan mengukur percepatan pasukan. Kekuatan ini mungkin statis, seperti konstanta gaya gravitasi ketika berhenti atau tidak bergerak, atau mereka bisa dinamis disebabkan oleh bergerak atau bergetar accelerometer. Dengan mengukur jumlah statis percepatan gravitasi, gaya percepatan terhadap bumi dapat ditemukan.

Ada tiga jenis accelerometers MEMS; piezoresistif, tunneling, dan kapasitif. Accelerometer kapasitif dipilih untuk sistem ini karena memberikan sensitivitas yang tinggi, baik respon DC, drift rendah, rendah sensitivitas temperatur, disipasi daya rendah, dan struktur sederhana. Seperti diketahui, accelerometer MEMS adalah sebuah sensor yang mengubah percepatan dari gerak atau gravitasi ke sinyal listrik. Accelerometer MEMS terdiri dari jari tetap dan bergerak.

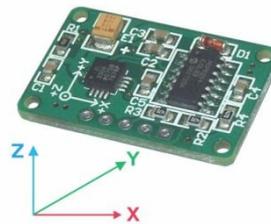
Percepatan adalah merasakan dengan mengukur kapasitansi struktur yang bervariasi secara proporsional dengan perubahan dalam percepatan. Rangkaian antarmuka menggabungkan dengan unsur kapasitif kemudian ekstrak sinyal percepatan dan mengkonversi ke salah satu bentuk atau analog digital. Menggunakan pengolahan mikrokontroler, sinyal yang tersedia akan diekstraksi dan dikalibrasi melalui program Labview signal express.

Menggunakan accelerometer MEMS sebagai detektor getaran shock, ini dapat digunakan untuk berbagai kondisi dan aplikasi seperti bencana alam dalam hal ini, accelerometer MEMS menyediakan data yang berguna untuk memonitor dan meningkatkan waspada sistem. Selanjutnya, sistem deteksi getaran shock juga dapat digunakan untuk mendeteksi. Situasi ini berlaku di daerah bidang kedokteran dan sistem keamanan. Untuk wilayah bidang kedokteran, MEMS accelerometer telah digunakan untuk memonitor berbagai gerakan manusia terutama untuk narapidana kritis. Selain itu juga berlaku untuk sistem keamanan seperti menginstal accelerometer MEMS dalam subsistem elektronik sensitif seperti hard disk. Jika hard disk jatuh, maka MEMS accelerometer akan mendeteksi kekuatan jatuh apakah itu penting atau tidak. Jika kritis, maka sulit disk akan menonaktifkan untuk melindungi hard disk.

Singkatnya, ada banyak penelitian dilakukan untuk memanfaatkan sepenuhnya potensi di daerah menggunakan MEMS, oleh karena itu diharapkan sistem deteksi getaran shock dikembangkan akan cocok dengan salah satu sistem terapan berdasarkan deteksi guncangan dan getaran. [2]

### **3.1.1 Prinsip Kerja MEMS ADXL 330**

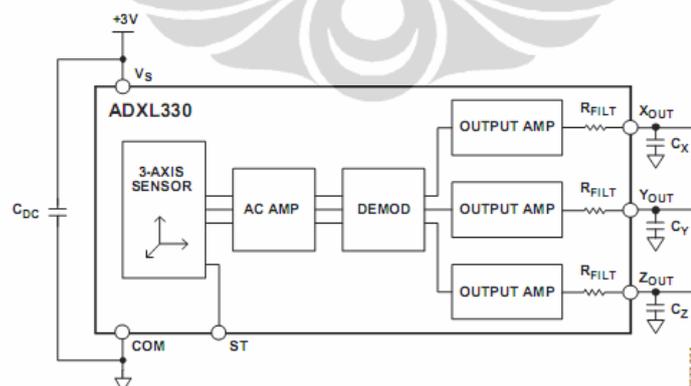
Sensor ADXL330 (gambar 3.1) merupakan sensor yang mempunyai 3 sumbu percepatan sistem pengukuran lengkap pada IC monolithic. Sensor ADXL330 memiliki jangkauan pengukuran  $\pm 3$  minimum g. Sensor ini didalamnya terdapat permukaan polysilicon micromachined sensor dan sirkuit pengkondisian signal untuk menerapkan pengukuran percepatan loop terbuka, hasil output sinyalnya adalah tegangan analog yang sebanding dengan percepatan. accelerometer dapat mengukur percepatan gravitasi statis dalam aplikasi penginderaan kemiringan serta akselerasi dinamis yang dihasilkan oleh gerak, shock, atau getaran.



Gambar 3.1  
Accelerometer ADXL303 [google image.com]

Sensor terdiri dari struktur permukaan polysilicon micromachined dibangun di atas wafer silikon. Pegas yang berbahan Polysilicon menanggulungkan struktur di atas permukaan wafer dan memberikan perlawanan terhadap pasukan percepatan. Defleksi struktur diukur menggunakan kapasitor diferensial yang terdiri dari piring piring tetap independen dan melekat pada massa bergerak. Piring-piring tetap didorong oleh gelombang persegi dengan fase  $180^0$ . Percepatan mengalihkan massa bergerak dan unbalances kapasitor diferensial menghasilkan output sensor yang amplitudo sebanding dengan percepatan. Teknik demodulasi Tahap-sensitif kemudian digunakan untuk menentukan besar dan arah percepatan.

Output demodulator diperkuat dan dibawa off-chip melalui sebuah resistor  $32\text{ k}\Omega$ . pengguna kemudian menentukan bandwidth sinyal perangkat dengan menambahkan sebuah kapasitor. Penyaringan ini meningkatkan resolusi pengukuran dan membantu mencegah aliasing. Diagram kerjanya bisa dilihat pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Blok diagram ADXL 330 [lampiran 2]

### 3.2 Daq Card

Akuisisi data (Data Acquisition = DAQ) adalah proses memperoleh data yang diperlukan untuk keperluan tertentu. Keperluan tertentutersebut tentunya tidak

sekedar memiliki data, namun juga bagaimana data tersebut ditampilkan, disimpan dan diproses lebih lanjut. Data dapat diproses lebih lanjut melalui analisis data ataupun digunakan sebagai umpan balik pada suatu sistem kendali. Pengertian akuisisi data ini memperluas pengertian sistem pengukuran yang hanya mencakup cara pengukuran suatu besaran fisik.

Saat ini komputer digunakan secara luas pada sistem DAQ karena mempunyai beberapa kelebihan, antara lain media penyimpanan yang lebih kompak, akurasi data yang dihasilkan lebih baik, dapat digunakan pada kendali sistem *real time*, dan data dapat diproses pada waktu lamasetelah data diambil. Bagan yang menunjukkan sistem akuisisi data yang melibatkan komputer di dalamnya diperlihatkan pada gambar 8-1. Sensor atau transduser bertugas untuk mengubah besaran fisika yang diukur menjadi sinyal elektrik. Sinyal elektrik tersebut disesuaikan levelnya dan bentuknya pada pengkonisi sinyal. Sinyal elektrik yang telah dikondisikan ini masih berupa sinyal analog, yang selanjutnya memasuki konverter A/D (Analog ke Digital) untuk diubah menjadi sinyal digital yang akan diterima oleh komputer.

Pemrograman tingkat tinggi yang khusus untuk akuisisi data adalah menggunakan LabVIEW dari National Instrument. Pada LabVIEW terdapat berbagai macam fitur, khusus mengenai pengelolaan signal LabVIEW menyediakan perangkat software tambahan yaitu LabVIEW Signal Express.

Perangkat keras akuisisi daq card yang digunakan pada tesis ini adalah NI USB-6008 multifungsi I / O device, yang interface ke PC melalui konektor USB. Perangkat ini memiliki 8 diferensial tegangan analog input, 2 output, 12 saluran yang dapat digunakan baik sebagai DI (Digital Input) atau DO (Digital Output) dikonfigurasi secara individual, dan resolusi 12-bit. Sebuah perangkat USB adalah memilih untuk kesederhanaan, tetapi ini adalah salah satu dari berbagai jenis perangkat akuisisi data yang dapat digunakan. Interface lain yang umum adalah slot PCI-data kartu akuisisi. Kartu ini dapat dipasang ke slot PCI-pada motherboard komputer itu, banyak seperti suara atau kartu Ethernet.

National Instrument USB-6008 gambar 3.3 (lampiran 2) menyediakan fungsionalitas dasar akuisisi data untuk aplikasi seperti data sederhana penebangan, pengukuran portabel, dan percobaan laboratorium akademis. USB

NI-6008 yang ideal bagi siswa. Kami membuat aplikasi pengukuran kami dengan program USB-6008 NI LabVIEW dan menggunakan NI-DAQmx perangkat lunak driver untuk Windows.

DAQ Asisten adalah antarmuka grafis untuk interaktif membuat, mengedit, dan menjalankan saluran NI-DAQmx virtual dan tugas. Saluran NI-DAQmx virtual terdiri dari saluran fisik pada perangkat DAQ dan informasi konfigurasi untuk fisik saluran, seperti berbagai masukan dan scaling kustom.

Program LabVIEW, mempersiapkan para siswa untuk mengembangkan tes dan pengukuran, akuisisi data, kontrol instrumen, data logging, dan aplikasi pengukuran analisis. LabVIEW mencakup seperangkat Vis yang membiarkan kita mengkonfigurasi, memperoleh data, dan mengirim data ke perangkat DAQ. Sering kali, satu perangkat dapat melakukan berbagai fungsi: analog-ke-digital (A / D) konversi, digitalto analog (D/A) konversi, digital I / O, dan counter atau operasi timer.

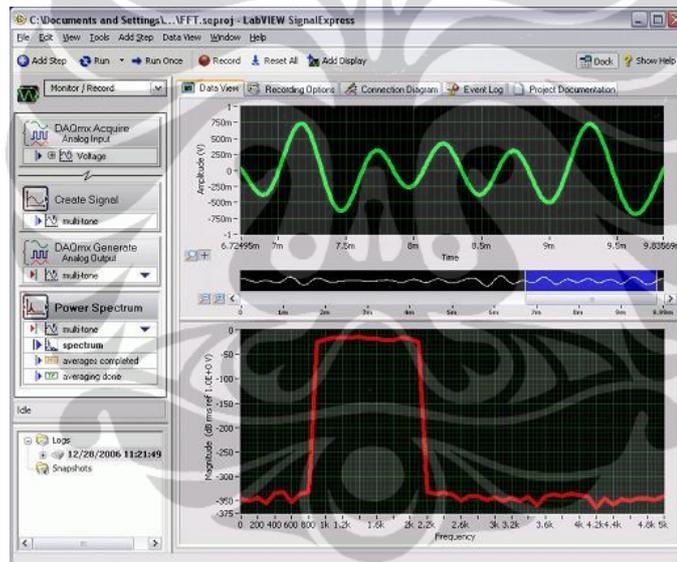


Gambar 3.3  
Daq Card [lampiran 2]

### 3.3 LabVIEW Signal Express 2.5

Nasional Instrumen menyediakan solusi inovatif bagi para ilmuwan dan insinyur untuk membangun sistem pengukuran otomatis berdasarkan industri-komputer standar dan platform. Instrumen Nasional mengembangkan yang kuat, lingkungan pemrograman industri terkemuka untuk mengotomatisasi sistem pengukuran, seperti LabVIEW untuk pengembangan grafis, LabWindows™ / CVI™ untuk pemrograman C ANSI, dan Pengukuran Studio untuk pemrograman Microsoft Visual Studio. Anda dapat menggunakan program ini alat pengukuran dengan hardware Instrumen Nasional dan antarmuka dengan instrumen tradisional untuk membangun sistem canggih kustom instrumentasi virtual.

SignalExpress mengoptimalkan instrumentasi virtual untuk insinyur desain dengan menawarkan pengukuran interaktif instan yang membutuhkan pemrograman tidak. Anda dapat menggunakan SignalExpress interaktif untuk memperoleh, menghasilkan, menganalisa, membandingkan, impor, dan menyimpan sinyal. Anda dapat membandingkan data dengan data desain pengukuran dalam satu langkah. SignalExpress (gambar 3.4) memperluas kemudahan penggunaan dan kinerja instrumentasi virtual untuk mereka yang harus memperoleh atau menganalisis sinyal tanpa tions Aplikasi pemrograman. Anda juga dapat memperluas fungsionalitas SignalExpress dengan mengimpor alat virtual custom (VI) diciptakan dalam LabVIEW atau dengan mengubah sebuah proyek SignalExpress ke LabVIEW blok diagram sehingga Anda dapat melanjutkan pembangunan di lingkungan LabVIEW. [lampiran 3]



Gambar 3.4  
Tampilan Labview Signal Express

### 3.4 Signal Processing

Alasan utama untuk pemrosesan sinyal dunia nyata untuk mengekstrak informasi dari mereka. Informasi ini biasanya ada dalam bentuk amplitudo sinyal (absolut atau konten relatif), frekuensi atau spektral, fase, atau hubungan waktu sehubungan dengan lain sinyal. Setelah informasi yang diinginkan diekstrak dari sinyal tersebut, dapat digunakan dalam beberapa cara.[3]

modifikasi Sinyal adalah fungsi penting dalam banyak aplikasi getaran. Tugas modifikasi sinyal dapat meliputi: pengkondisian sinyal (misalnya, amplifikasi, dan

analog dan digital filtering); sinyal konversi (misalnya, konversi analog ke digital, konversi digital ke analog, tegangan ke frekuensi konversi, dan frekuensi ke tegangan konversi); modulasi (misalnya, modulasi amplitudo, modulasi frekuensi, modulasi fasa, pulsa-lebar modulasi, modulasi frekuensi pulsa, dan modulasi pulsa-kode), dan demodulasi (proses kebalikan dari modulasi). Selain itu, berbagai jenis operasi modifikasi berguna sinyal dapat diidentifikasi. Sebagai contoh, sampel dan sirkuit terus digunakan dalam sistem akuisisi data digital. Perangkat seperti multiplexer analog dan digital dan pembanding diperlukan dalam berbagai aplikasi data akuisisi dan processing. Phase pergeseran, kurva membentuk, dari pengaturan, dan Linearisasi juga dapat diklasifikasikan sebagai modifikasi sinyal. Bab ini menjelaskan pengkondisian sinyal dan operasi modifikasi yang berguna dalam aplikasi getaran. Sinyal modifikasi memainkan peran penting dalam komponen interfacing. When dua perangkat yang dihubungkan, adalah penting untuk memastikan bahwa perangkat satu meninggalkan asignal dan memasuki yang lain akan melakukannya di tingkat sinyal yang tepat (tegangan, arus, daya), dalam bentuk yang tepat (analog, digital), dan tanpa distorsi (loading dan pertimbangan impedansi). Sebuah sinyal harus benar dimodifikasi untuk transmisi oleh amplifikasi, modulasi, digitalisasi, dan seterusnya, sehingga sinyal atau kebisingan rasio sinyal cukup besar di receiver.[5]

Hampir semua analisis frekuensi sekarang dilakukan secara digital, dengan menggunakan Fast Fourier Transform (FFT) untuk analisis bandwidth yang konstan pada skala frekuensi linear, dan rekursif digital filter untuk bandwidth konstan-persentase (oktaf fraksional) analisis skala logaritmik frekuensi; karena pada dasarnya berperilaku terakhir dengan cara yang sama sebagai filter analog, bab ini dimulai dengan diskusi umum filter dan menggunakan mereka untuk analisis frekuensi, dan kemudian meliputi analisis analysis. Although FFT spektrum dapat dilakukan dengan cara lain, seperti autoregressive (AR) analisis, moving average (MA) analisis, dan kombinasi mereka (ARMA analisis), metode ini belum dimasukkan dalam analisa spektrum.[4]

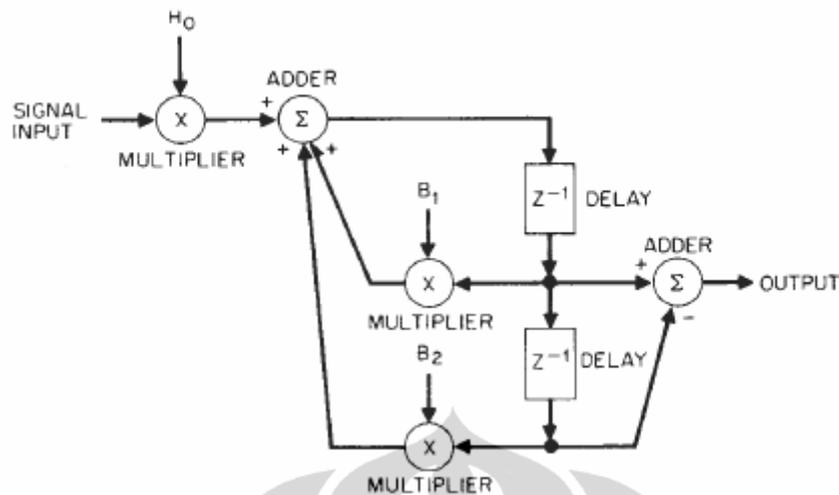
### 3.4.1 Filters

Sebuah mentransmisikan bandpass filter yang ideal bagian dari sinyal masukan dalam passband nya dan benar-benar attenuates komponen di semua frekuensi lainnya. Praktis filter berbeda sedikit dari ideal, seperti yang dibahas di bawah ini. filter Analog kini telah hamper seluruhnya digantikan oleh filter digital.

Digital filter (khususnya, filter digital rekursif) adalah alat yang memproses sinyal digital yang berkelanjutan dan memberikan sinyal yang lain sebagai output yang disaring dalam beberapa cara berkaitan dengan hubungan original. The antara output dan input sampel dapat dinyatakan sebagai perbedaan persamaan (secara umum, yang melibatkan output sebelumnya dan nilai-nilai input) dengan sifat mirip dengan persamaan diferensial yang menggambarkan sebuah filter analog. Gambar 3.5 menunjukkan bagian dua-kutub yang khas digunakan dalam analisa filter satu-ketiga-oktaf digital (tiga di antaranya mengalir untuk memberikan filtrasi enam-tiang)

Dua cara untuk mengubah sifat suatu rangkaian filter yang diberikan digital seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 3.5 adalah:

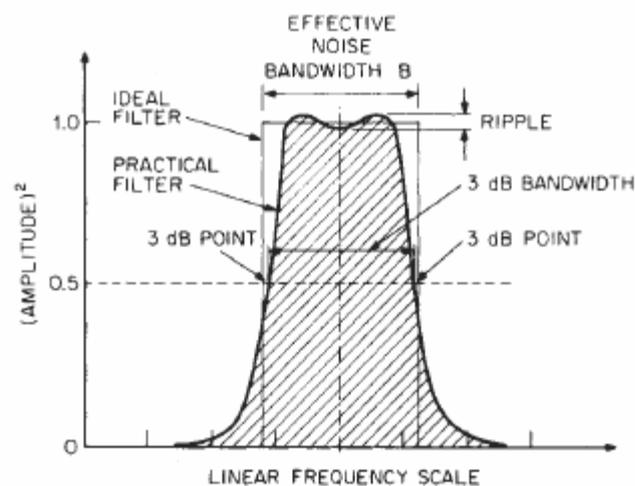
1. Untuk frekuensi sampling tertentu, karakteristik dapat diubah dengan mengubah koefisien dari persamaan perbedaan. (Pada rangkaian Gambar. 3.5 ada tiga, efektif menentukan frekuensi resonansi, redaman, dan scaling.)
2. Untuk koefisien diberikan, karakteristik filter didefinisikan hanya berkenaan dengan sampling frekuensi. Jadi, mengurangi setengah dari frekuensi sampling akan membagi dua cutoff



Gambar 3.5 skema menentukan frekuensi, resonansi, redaman, scaling [4]

frekuensi, frekuensi pusat, dan bandwidth; akibatnya, constant percentage yang karakteristik diselenggarakan satu oktaf lebih rendah pada frekuensi. Untuk alasan ini, filter digital juga disesuaikan dengan analisis bandwidth konstan-persentase pada (logaritmik yaitu, skala oktaf-based) frekuensi.

**Filter Properties.** Gambar 3.6 menggambarkan apa yang dimaksud dengan bandwidth 3-dB dan kebisingan bandwidth efektif, yang pertama adalah yang paling relevan ketika memisahkan frekuensi diskrit, dan yang kedua ketika berhadapan dengan sinyal acak. Untuk filter memiliki selektivitas yang baik (misalnya, memiliki sisi-sisi filter curam), tidak ada perbedaan besar antara dua nilai, dan dalam pembahasan berikut ini tidak ada perbedaan dibuat antara mereka.



Gambar 3.6 karakteristik filter pada suatu bandwidth [4]

yang paling berlaku untuk filter konstan-bandwidth, atau dalam bentuk

$$bn_r = 1 \quad (3.1)$$

dimana

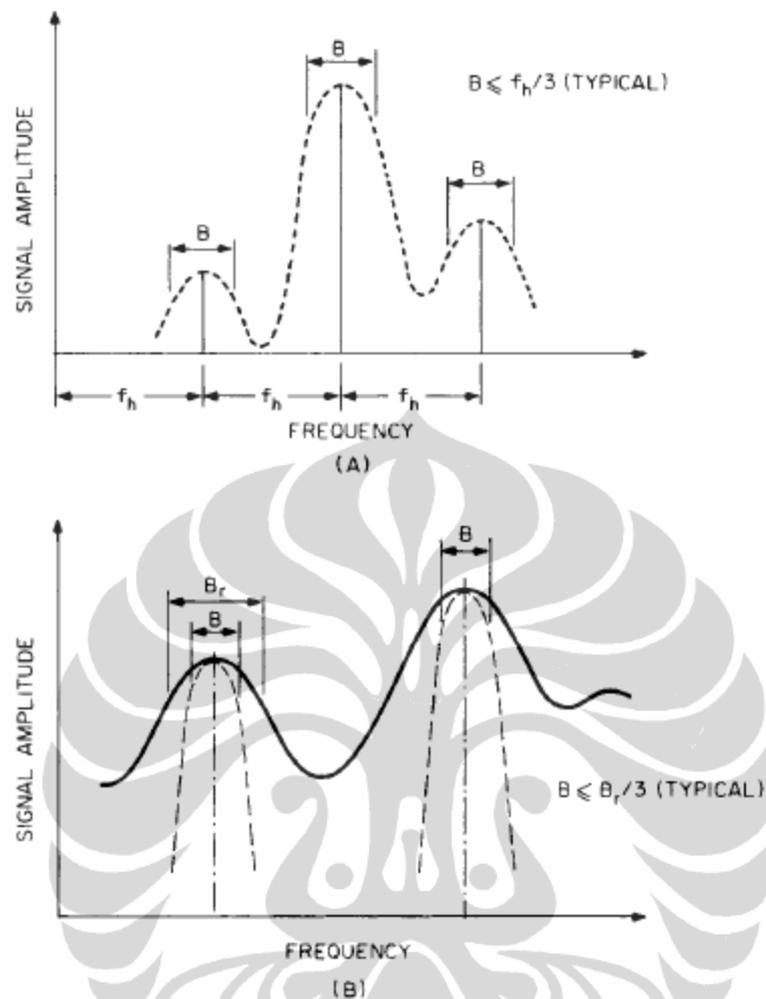
$$\begin{aligned} b &= B/f_0 = \text{relative bandwidth} \\ n_r &= f_0 T_R = \text{number of periods of frequency } f_0 \text{ in time } T_R \\ f_0 &= \text{center frequency of filter} \end{aligned}$$

Formula ini lebih berlaku untuk filter bandwidth konstan-persentase. Dengan demikian, waktu respon filter bandwidth 10-Hz adalah sekitar 100 milidetik, sementara waktu respon filter bandwidth 1 persen adalah sekitar 100 periode. Tokoh 14,3 juga menggambarkan bahwa panjang efektif dorongan TE juga sekitar  $1/B$ , sedangkan untuk mengintegrasikan semua energi yang terkandung dalam impulse response filter itu perlu untuk mengintegrasikan lebih dari setidaknya  $3T_R$ .

**Memilih Bandwidth dan Skala Frekuensi.** Secara umum ditemukan bahwa analisis waktu diatur oleh ekspresi dari tipe  $BT \geq K$ , dimana  $K$  adalah sebuah konstan dilihat, misalnya, Persamaan. (3.1) dan  $T$  adalah waktu yang diperlukan untuk setiap pengukuran dengan bandwidth  $B$ . Dengan demikian, penting untuk memilih bandwidth maksimum yang konsisten dengan mendapatkan resolusi yang memadai, karena tidak hanya adalah waktu analisis per proporsional bandwidth sampai  $1/B$  tapi begitu adalah jumlah bandwidth yang dibutuhkan untuk mencakup rentang frekuensi yang diberikan efek kuadrat. Sulit untuk memberikan aturan yang tepat untuk pemilihan bandwidth filter, tapi berikut diskusi memberikan beberapa pedoman umum: Untuk stasioner deterministik dan, khususnya, sinyal periodik yang berisi sama spasi frekuensi diskrit komponen, tujuannya adalah untuk memisahkan komponen yang berdekatan; ini terbaik dapat dilakukan dengan menggunakan bandwidth yang konstan pada frekuensi bandwidth scale. The harus linier, misalnya, terpilih sebagai satu-kelima sepertiga dari jarak minimum yang diharapkan (misalnya, poros kecepatan terendah, atau setengah nya-order jika hal ini diharapkan) (lihat Gambar 3.7A). Untuk sinyal acak atau transient stasioner, bentuk spektrum kemungkinan besar akan ditentukan oleh resonansi di jalur transmisi antara

sumber dan pickup, dan bandwidth  $B$  harus dipilih sehingga sekitar sepertiga dari  $B_r$  bandwidth puncak resonansi sempit (Gbr. 3.7B). Untuk konstanta redaman ini cenderung memiliki karakter  $Q$  konstan atau konstan-persentase bandwidth, dan sehingga konstan-persentase bandwidth pada skala frekuensi logaritmik paling sering tepat. penjelasan lebih lanjut dari bandwidth resolusi yang diinginkan untuk analisis data acak.

Sebuah skala frekuensi linier biasanya digunakan bersama-sama dengan bandwidth yang konstan, sedangkan skala logaritmik frekuensi biasanya digunakan bersama dengan bandwidth persentase konstan, seperti setiap kombinasi memberikan resolusi seragam sepanjang skala. Sebuah skala logaritmik dapat dipilih untuk mencakup rentang frekuensi yang luas, dan kemudian bandwidth konstan-persentase hampir wajib. Sebuah skala frekuensi logaritmik mungkin, Namun, kadang-kadang dipilih dalam hubungannya dengan konstan bandwidth (meskipun pada rentang frekuensi terbatas) dalam rangka untuk menunjukkan hubungan yang linear pada skala log-log (misalnya, konversi antara percepatan, kecepatan, dan perpindahan).



Gambar 3.7 dua jenis tipe sinyal filter pada sinyal diskrit dan continus [5]

### 3.4.2 FFT ANALYZERS

Transformasi Fourier cepat analisa memanfaatkan FFT algorithm2 untuk menghitung spektrum blok algoritma FFT data. The adalah cara efisien perhitungan diskrit Fourier Transform (DFT). Seperti dijelaskan dalam Bab. 19, ini adalah terbatas, diskrit pendekatan dari Transformasi Fourier integral. Persamaan yang diberikan di sana selama DFT asumsikan real-menghargai waktu sinyal [lihat Persamaan. (19,30)]. Algoritma FFT membuat penggunaan versi berikut, yang berlaku untuk deret waktu real atau kompleks:

$$\begin{aligned}
 X(m) &= \Delta t \sum_{n=0}^{N-1} x(n \Delta t) \exp(-j2\pi m \Delta f n \Delta t) \\
 x(n) &= \Delta f \sum_{m=0}^{N-1} X(m \Delta f) \exp(j2\pi m \Delta f n \Delta t)
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

Persamaan ini memberikan spektrum nilai  $X(m)$  di frekuensi diskrit  $N$   $m \Delta f$  dan memberikan deret waktu  $x(n)$  pada waktu  $N$  diskrit poin  $n \Delta t$ . Sedangkan Transformasi Fourier persamaan integral tak terbatas dari fungsi kontinu, persamaan DFT adalah jumlah terbatas namun dinyatakan memiliki sifat yang mirip. Itu berubah fungsi menjadi dikalikan dengan exp unit vektor berputar ( $\pm j2\pi m \Delta f n \Delta t$ ), yang berputar (dalam melompat terpisah untuk setiap kenaikan parameter  $n$  waktu) di kecepatan sebanding dengan frekuensi  $m$ . The parameter perhitungan langsung dari setiap komponen frekuensi dari Persamaan. (3,2) memerlukan perkalian-perkalian  $N$  kompleks dan tambahan, sehingga untuk menghitung keseluruhan spektrum  $N^2$  kompleks membutuhkan perkalian-perkalian dan penambahan.

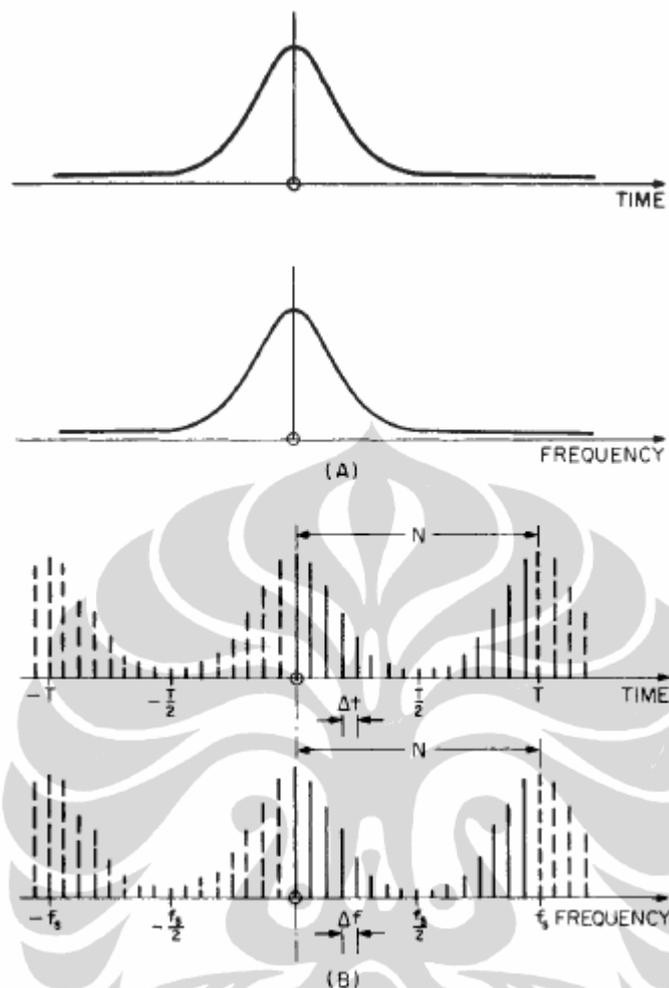
Faktor algoritma FFT persamaan sedemikian rupa sehingga hasil yang sama adalah dicapai dalam sekitar  $N \log 2$  operations.1 ini merupakan speedup dengan factor lebih dari 100 untuk kasus yang khas di mana  $N = 1024 = 2^{10}$ . Namun, sifat hasil FFT adalah sama dengan DFT tersebut.

Gambar 3.8 grafis menggambarkan perbedaan antara transformasi diskrit Fourier dan Transformasi Fourier integral. Karena spektrum tersedia hanya pada frekuensi diskrit  $m \Delta f$  (di mana  $m$  adalah integer), fungsi waktu adalah implisit periodik (seperti seri Fourier). Itu waktu periodik

$$T = N \Delta t = 1/\Delta f \tag{3.3}$$

Dimana

$N$  = number of samples in time function and frequency spectrum  
 $T$  = corresponding record length of time function  
 $\Delta t$  = time sample spacing  
 $\Delta f$  = frequency line spacing =  $1/T$



Gambar 3.8 perbandingan transformasi fourier dengan diskrit fourier transform [5]

Dalam cara yang analog, pengambilan sampel diskrit dari sinyal waktu berarti bahwa spektrum secara implisit periodik, dengan periode sama dengan frekuensi sampling  $f_s$ , dimana

$$f_s = N \Delta f = 1/\Delta t \quad (3.4)$$

Catatan dari Gambar. 14,6 bahwa karena periodisitas spektrum, paruh kedua ( $M = N / 2$  sampai  $N$ ) sebenarnya merupakan komponen frekuensi negatif ( $m = -N / 2$  sampai  $0$ ). Untuk sampel bernilai real time (kasus biasa), frekuensi negatif komponen ditentukan dalam kaitannya dengan komponen-komponen frekuensi positif oleh persamaan dan spektrum konjugatnya.

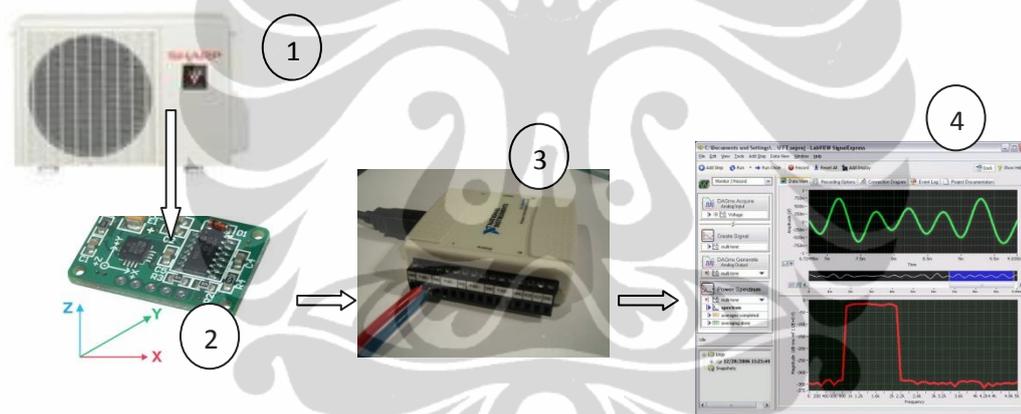
$$X(-m) = X^*(m) \quad (3.5)$$

## BAB 4

### PENGUKURAN DAN ANALISA VIBRASI UNIT MESIN OUTDOOR AC

#### 4.1 Pengukuran Vibrasi

Langkah awal pengukuran vibrasi pada unit mesin outdoor AC adalah melakukan pengukuran overall, yaitu pengukuran yang tidak difilter pada daerah frekuensi tertentu. Tujuannya adalah untuk memperoleh gambaran kondisi unit mesin secara umum. Langkah untuk melakukan pengukuran atau secara umum bertujuan untuk mendapatkan data-data vibrasi unit mesin outdoor AC yang akan dianalisa kerusakannya menggunakan hubungan amplitudo dengan frekuensi, amplitudo vibrasi terhadap arah vertikal, horisontal, dan axial. Pada gambar 4.1 merupakan skematik instrumentasi yang dirangkai untuk pengambilan data ini.

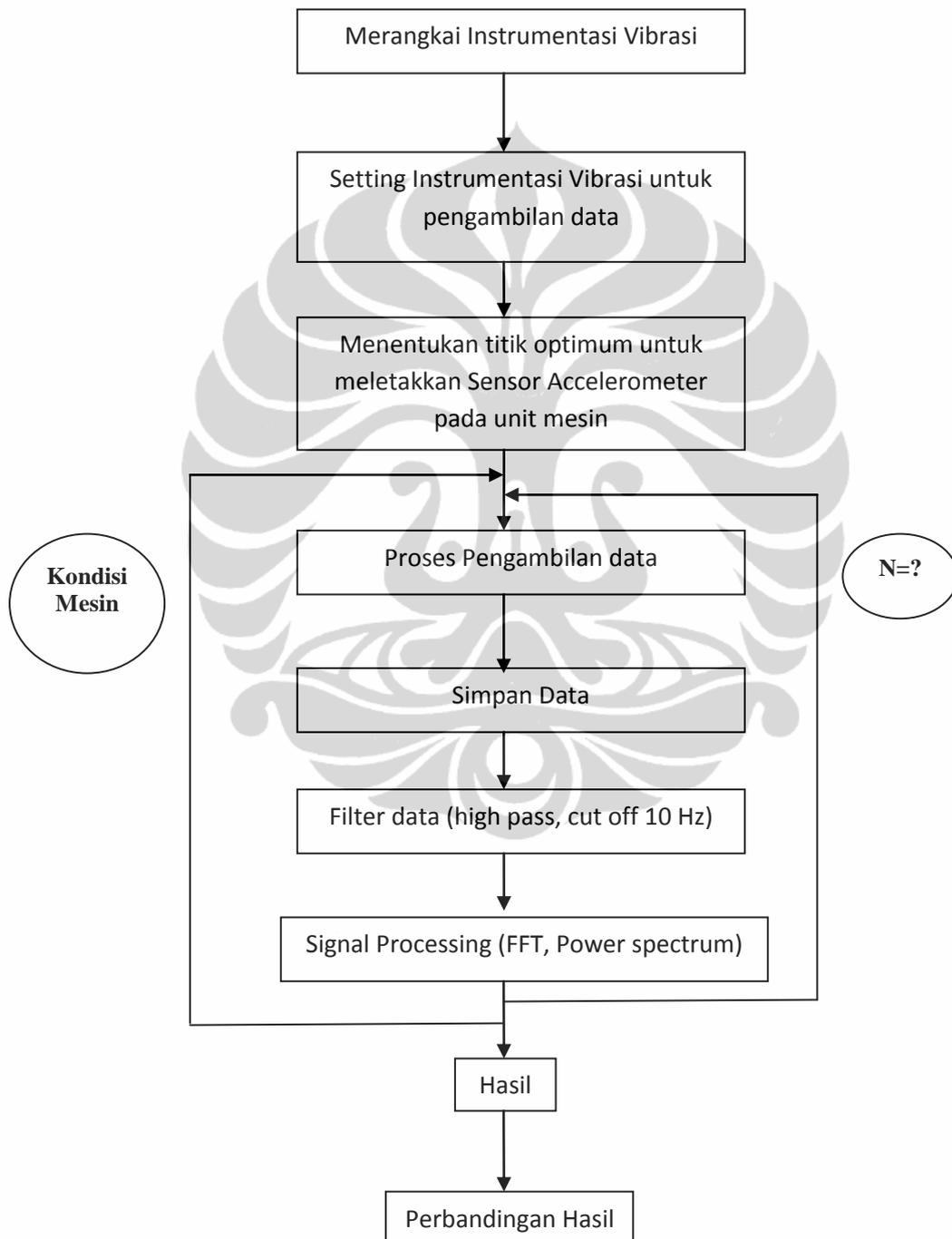


Gambar 4.1 skematik instrumentasi vibrasi

Vibrasi dihasilkan oleh unit mesin (gambar 4.1.1) akibat proses kerja dari unit komponen mesin yang sebagian energi vibrasinya diterima oleh sensor accelerometer (gambar 4.1.2) pada posisi menempel dicasing unit mesin tersebut (lampiran 4). Input sensor yang diterima berupa besaran mekanik (vibrasi) sensor mengubah besaran mekanik menjadi sinyal elektrik dalam hal ini output dari sensor berupa tegangan. Hasil output dari sensor accelerometer berupa pulsa pulsa tegangan kemudian datanya diakuisisi oleh Daq Card NI 6008 (gambar 4.1.3), daqcard selain berfungsi sebagai akuisisi data juga berfungsi sebagai pengubah sinyal analog ke bentuk sinyal digital. Hasil keluaran data sinyal pada daqcard

diolah menggunakan PC atau Laptop dengan menggunakan software LabVIEW Signal Express (gambar 4.1.4) dengan hasil output berupa spektrum perubahan tegangan  $mV/g$  terhadap waktu (s) atau perubahan amplitudo terhadap waktu.

#### 4.1.1 Langkah kerja Pengukuran Vibrasi



Gambar 4.2 Diagram kerja pengukuran

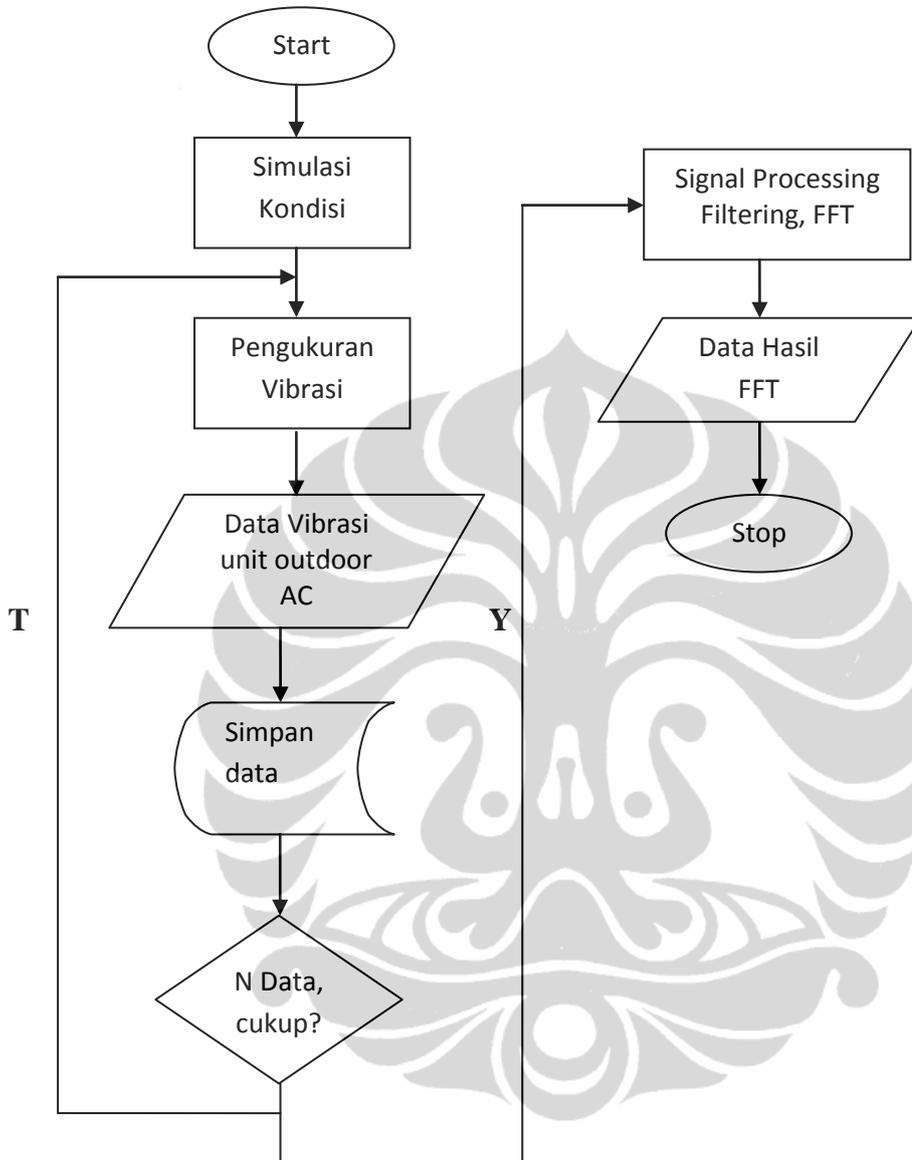
Berdasarkan langkah kerja yang disusun pada gambar diatas (gambar 4.2), pengukuran instrumentasi vibrasi dibuat atas kepraktisan dan portabilas alat, sehingga akan memudahkan kita dalam hal pengambilan data. Kepraktisan adalah kemudahan dalam hal mendapatkan komponen yang diperlukan serta kemudahan dalam hal merangkainya. Portabilatas yang dimaksudkan adalah alat tersebut mudah dipindah-pindahkan tanpa mengubah rangkain yang telah dibuat juga tidak mengubah settingan software.

Sensor yang digunakan harus ditempatkan pada titik optimum, agar informasi mengenai kondisi mesin secara keseluruhan bisa didapatkan secara maksimum. Pemilihan titik penempatan sensor ini berdasarkan posisi nilai vibrasi yang paling besar dengan cara melihat nilai spektrum yang dihasilkan. Langkah selanjutnya adalah proses pengambila data serta pengolahannya yang lebih rincinya akan diterangkan pada subbab 4.1.2.

#### **4.1.2 Langkah Kerja Pengambilan dan Pengolahan Data Vibrasi**

Penelitian ini dilakukan pada dua keadaan yaitu keadaan normal atau dalam kondisi baik dan keadaan tidak normal atau dalam kondisi tidak baik pada unit outdoor AC tipe Sharp yang digunakan, keadaan tidak normal terdiri dari keadaan kompresor mengalami kondisi high pressure, low pressure dan kondisi akibat modifikasi yang dilakukan ternyata membawa dampak kerusakan internal pada bagian dalam kompresor sehingga unit mesin bekerja tidak sempurna.

Berikut adalah Langkah Kerja Pengambilan dan Pengolahan Data Vibrasi



Gambar 4.3  
diagram kerja pengambilan dan pengolahan data vibrasi

Penggunaan aliasing filter yang digunakan adalah high pass filter dengan cut off 10 Hz agar frekuensi tinggi yang dihasilkan dapat terdeteksi serta menahan frekuensi rendah dibawah sepuluh. Hal ini didasari atas batas atau range dari sensor. Software pengkondisi sinyal yang digunakan menggunakan LabVIEW

Signal Expresss 2.5 dengan spesifikasi:

Filter : High – Pass Filter, Butterworth

Bandwith : 10 Hz

Sample rate : 3,3 kHz

Sample to read : 1.8 kHz

Signal Input Range :  $\pm 5$  V with continuous samples

## 4.2 Simulasi Gangguan

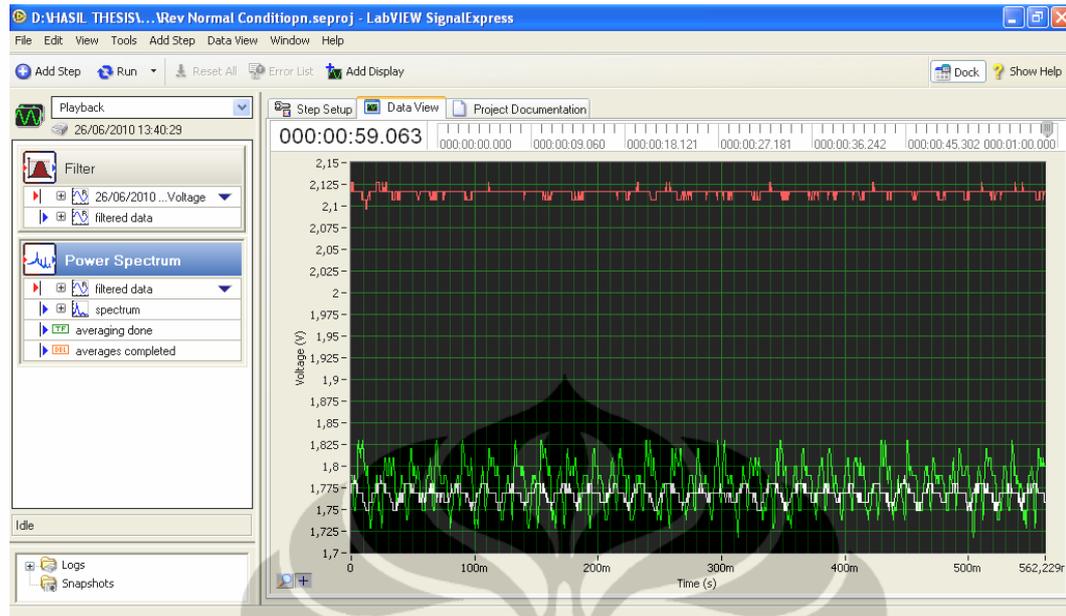
### 4.2.1 Kondisi Normal

Kondisi awal pada saat melakukan pengukuran adalah kondisi dimana mesin outdoor baru dibersihkan dan ditambahkan refrigeran (Freon), serta diperiksa kondisi suhu ruangan dan suhu yang keluar dari evaporator tidak menunjukkan perbedaan suhu sebesar 4-6 derajat dari suhu yang terdapat di remote AC (Suhu ruangan pada remote adalah  $25^0$  C) dengan arus yang mengalir pada unit outdoor AC 3.3 A masih sesuai dengan rated input spesifikasi awal (lampiran 5), sehingga bisa disimpulkan unit mesin outdoor AC dalam kondisi yang baik atau normal.

Pengambilan data dilakukan dalam satu hari dengan jeda waktu setiap 2 jam sekali, pengambilan data pertama pada jam 10 pagi berakhir pada jam 18.00 sore hari. Data diambil selama 1 menit sebanyak 10 kali pengambilan data secara berulang. Langkah pengambilan data ini dilakukan agar tidak terjadi false alarm, seperti yang sudah diterangkan pada bab 2.

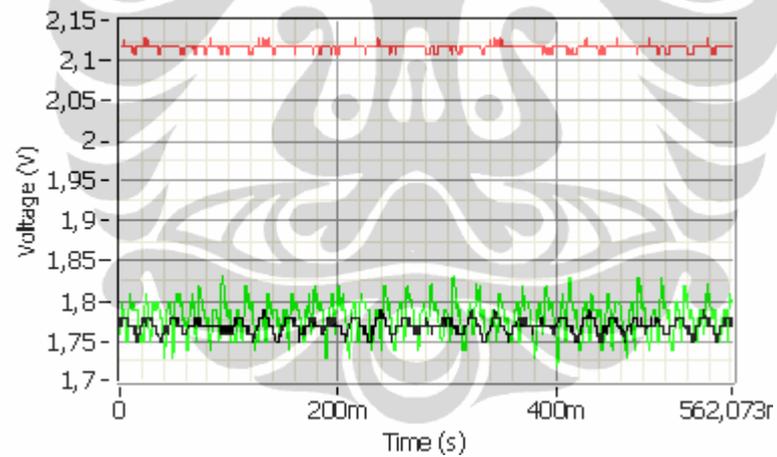
Hasil pengambilan data yang diperoleh menunjukkan pola yang sama pada tiap sesi pengambilan data, sehingga kita tidak perlu menampilkan semua data yang ada, cukup salah satu data saja yang kita tampilkan. Hal ini disebabkan kecenderungan frekuensi dan amplitudo yang tidak berubah pada tiap kondisi atau keadaan.

## Hasil vibrasi yang diperoleh adalah

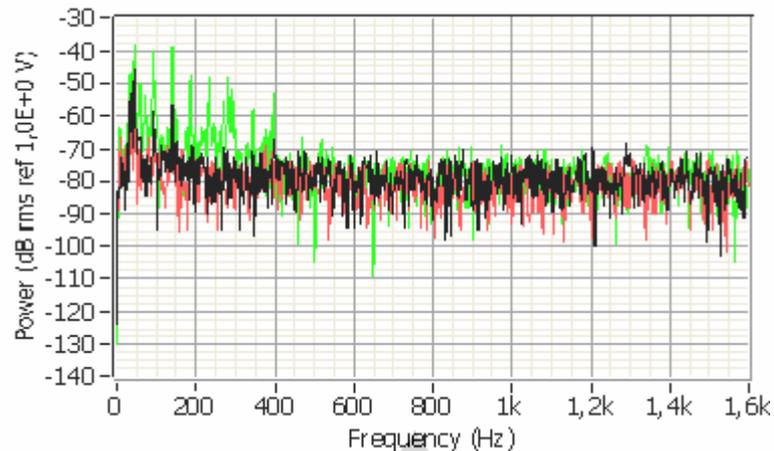


Gambar 4.4 sinyal input pada keadaan normal (LabVIEW Signal Express)

## Hasil analisa Vibrasinya adalah



Gambar 4.5 Input sinyal keadaan normal



Gambar 4.6 Hasil FFT Keadaan Normal

Pada keadaan Mesin unit AC dalam keadaan normal terdapat beberapa frekuensi dominan yang muncul dengan nilai amplitudo tinggi diantara frekuensi yang lainnya (amplitudo diatas -60 dB dan dibawah -100 dB), frekuensi tersebut adalah 48 Hz, 94 Hz, 142 Hz, 189 Hz, dan 397 Hz, dengan jumlah peak atas yang dihasilkan diatas - 60 dB sebanyak 15 peak sedangkan jumlah peak bawah yang dihasilkan pada batas -100 dB sebanyak 3 peak. Berikut merupakan data lengkapnya

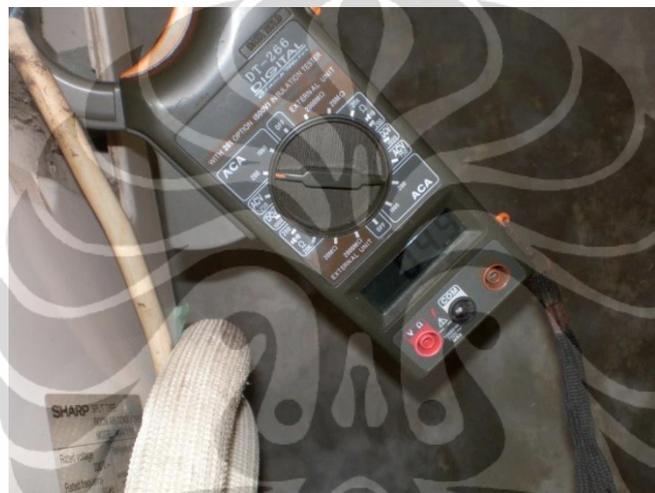
F <sub>i</sub>	Frekuensi (Hz)	Power dB		
		Sumbu x	Sumbu y	Sumbu z
F <sub>1</sub>	48	-45	-57	-37
F <sub>2</sub>	94	-61	-62	-39
F <sub>3</sub>	142	-60	-61	-42
F <sub>4</sub>	189	-72	-67	-50
F <sub>5</sub>	397	-68	-74	-52

Data tersebut merupakan data pembandingan terhadap frekuensi yang dihasilkan oleh keadaan tidak normal dari mesin unit outdoor AC.

#### 4.2.2 Kondisi tidak Normal

Kondisi tidak normal diberikan berdasarkan kerusakan yang sering terjadi pada unit outdoor AC, seperti yang sudah dibahas pada bab 1, modifikasi yang dilakukan adalah memberikan tekanan yang lebih pada bagian kompresornya, dengan cara memberikan sistem pendingin atau refrigeran dalam jumlah yang banyak melebihi tekanan yang dianjurkan. Hal ini biasa terjadi atas permintaan konsumen agar supaya jumlah refrigerannya diperbanyak sehingga dengan harapan masa habisnya refrigeran lama, istilah teknisnya high press

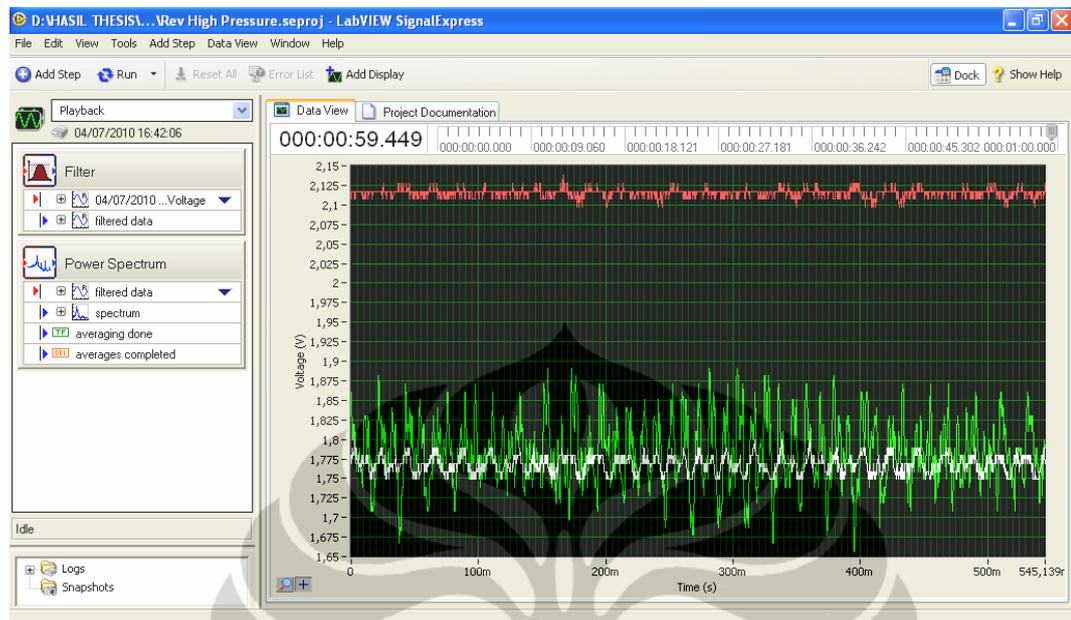
mengakibatkan tekanannya menjadi tinggi dan kerja komponen dalam kompresor menjadi maksimal atau melebihi batas optimal kerja, mengakibatkan gesekan katup input dan katup output saluran refrigeran menjadi aus dan ini mengakibatkan tidak sempurnanya kerja kompresor, akibatnya terjadi perubahan struktur kompresor sehingga menghasilkan noise yang tinggi, adanya kotoran serpihan karat yang lolos dari filter, kipas (fan) yang tidak sempurna kerjanya sehingga kondensor menjadi overheat (panas). Bukti bahwa kondisi high press terjadi adalah berdasarkan pengukuran arus pada saat high press terjadi yaitu sebesar 4,9 Ampere. (gambar 4.7)



Gambar 4.7 pengukuran arus pada keadaan High Press

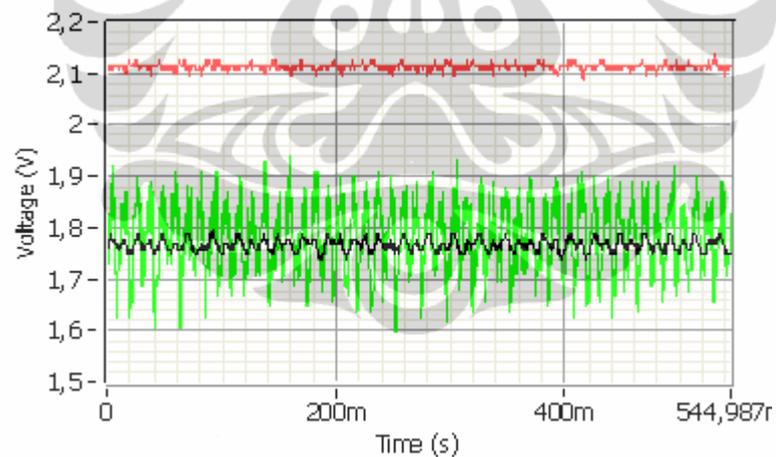
## Kondisi High Pressure

### Hasil Vibrasi yang didapat adalah

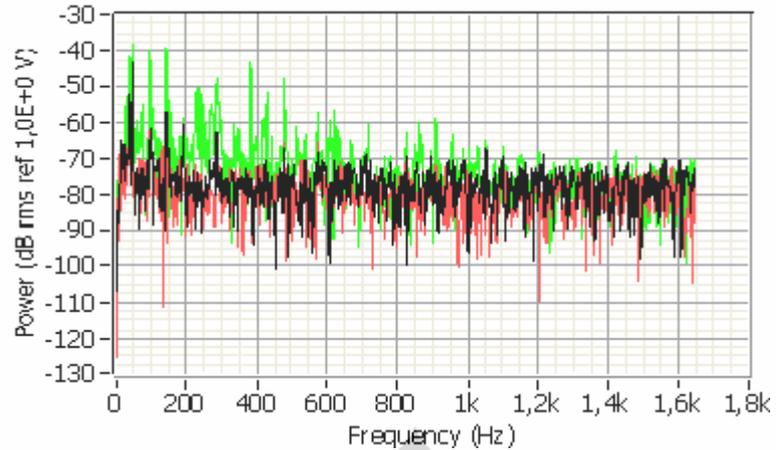


Gambar 4.8 sinyal input pada keadaan High Pressure (LabVIEW Signal Express)

### Hasil analisa vibrasinya adalah



Gambar 4.9 Input Sinyal Keadaan High Press



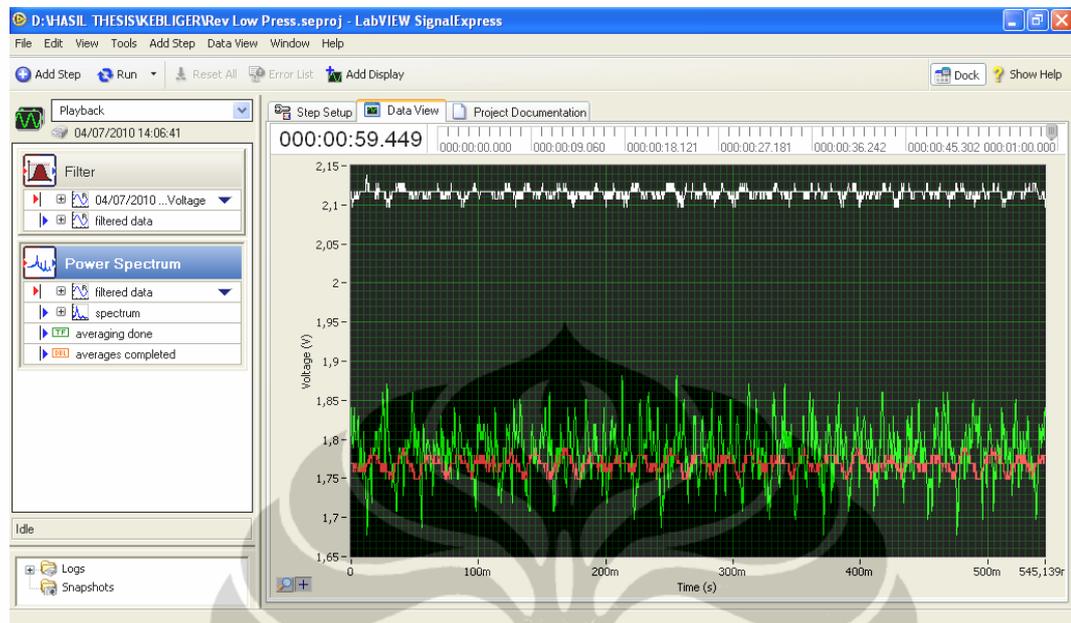
Gambar 4.10 FFT Keadaan High Press

Keadaan High press ini terjadi akibat berlebihnya memasukkan refrigeran (zat pendingin) kedalam saluran, sehingga tekanan pada tekanan tinggi akan naik lalu volume refrigeran yang disemprotkan katup ekspansi akan lebih besar menyebabkan saluran tekanan rendah naik pula tekanannya, berikut ini hasil vibrasi pembandingan yang diperoleh :

$f_i$	Frekuensi (Hz)	Power dB		
		Sumbu x	Sumbu y	Sumbu z
F <sub>1</sub>	48	-43	-57	-38
F <sub>2</sub>	94	-63	-66	-41
F <sub>3</sub>	142	-57	-65	-37
F <sub>4</sub>	189	-79	-70	-52
F <sub>5</sub>	397	-75	-74	-55

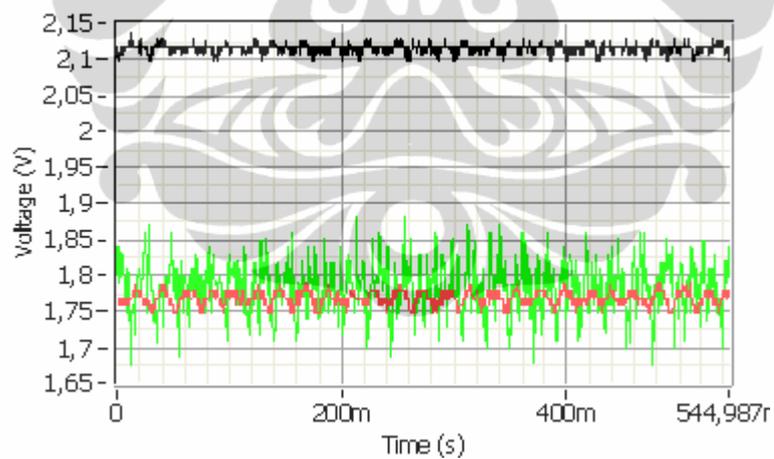
## Kondisi Low Pressure

### Hasil Vibrasi yang didapat adalah

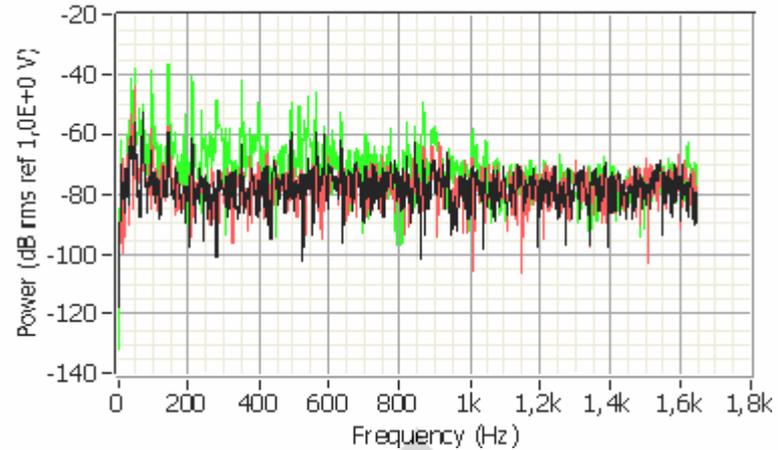


Gambar 4.11 sinyal input pada keadaan Low Pressure (LabVIEW Signal Express)

### Hasil analisa Spektrumnya adalah



Gambar 4.12 Input Sinyal Keadaan Low Press



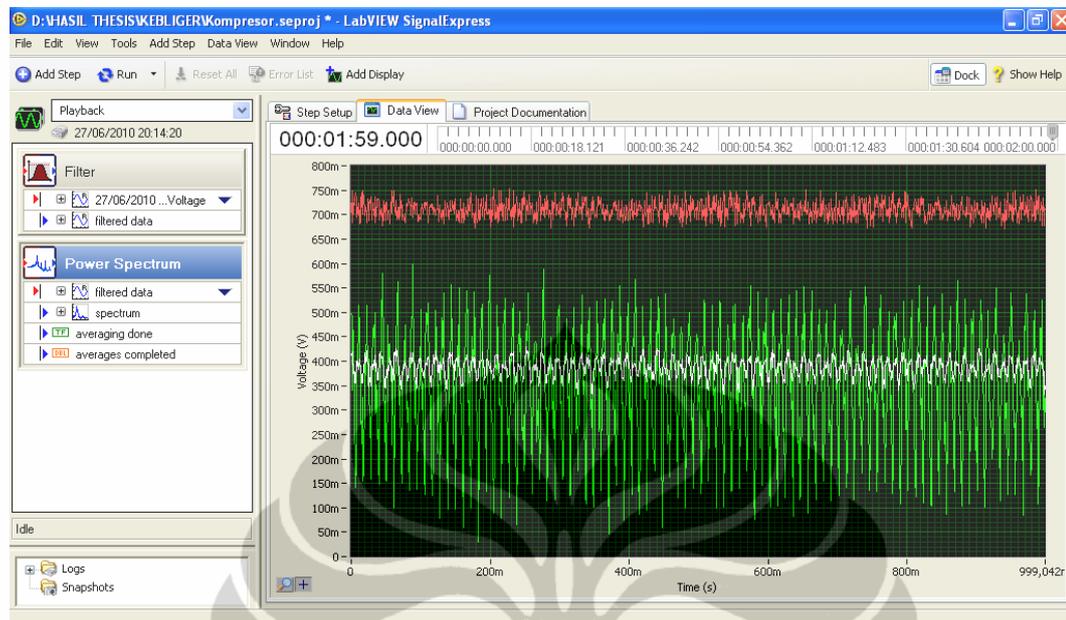
Gambar 4.13 FFT Keadaan Low Press

Keadaan low press terjadi akibat kebocoran refrigeran, hal ini menyebabkan tekanan menjadi berkurang pada saluran tekan dan saluran hisap kompresor menunjukkan refrigeran yang beredar dalam sistem volumenya sudah berkurang. Berikut ini hasil vibrasi frekuensi pembanding yang diperoleh :

$f_i$	Frekuensi (Hz)	Power dB		
		Sumbu x	Sumbu y	Sumbu z
$F_1$	48	-57	-45	-38
$F_2$	94	-66	-61	-40
$F_3$	142	-66	-57	-40
$F_4$	189	-96	-71	-51
$F_5$	397	-75	-69	-51

## Kondisi Kerusakan Komponen bagian dalam Kompresor

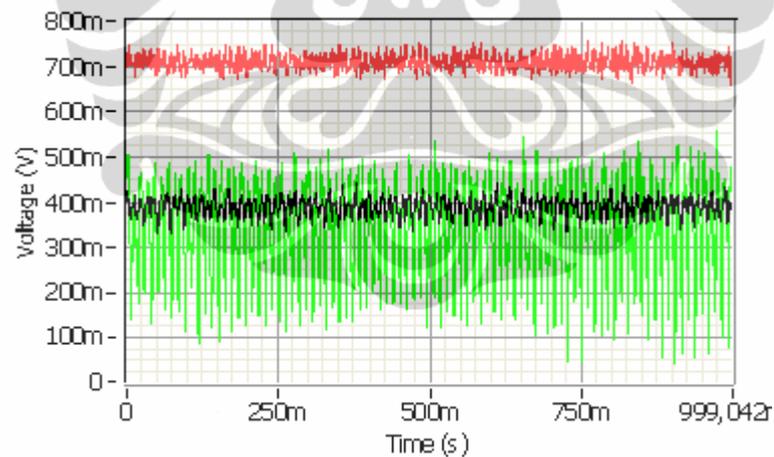
### Hasil Spektrum yang didapat adalah



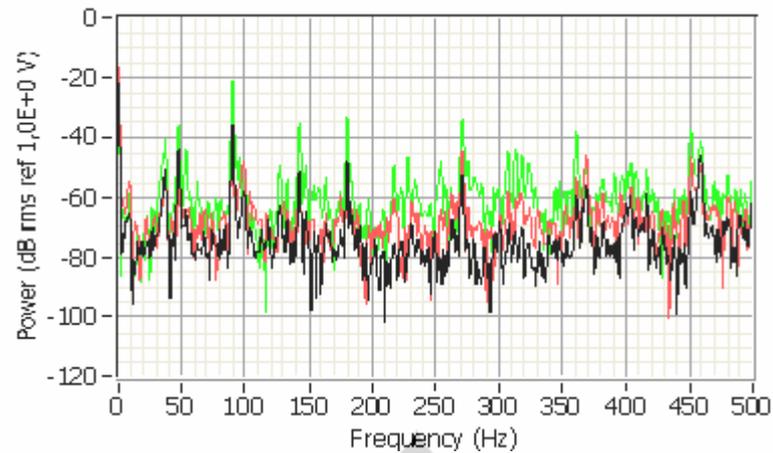
Gambar 4.14 sinyal input pada keadaan kompresor trouble (LabVIEW Signal Express)

### Hasil Analisa Spektrumnya adalah

### Spektrum Vibrasi ketidak normalan kompresor



Gambar 4.14 Input Sinyal Ketidak normalan kompresor



FFT Keadaan Ketidak normalan kompresor  
Gambar 4.15 FFT Keadaan Ketidak normalan kompresor

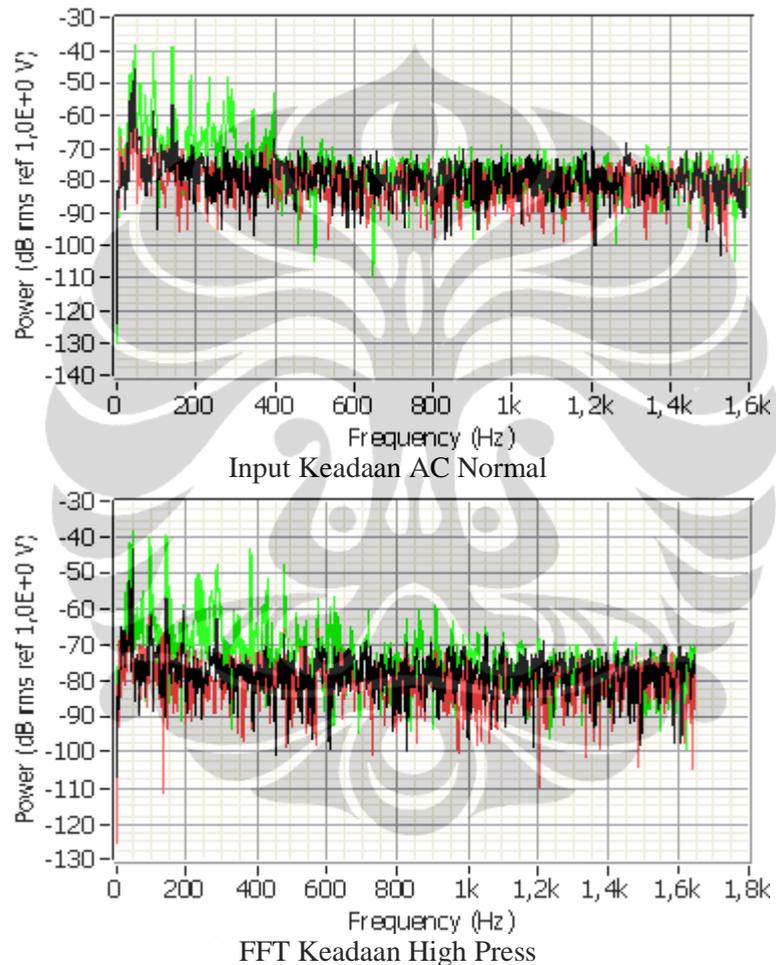
Akibat terjadinya high press yang terlalu lama menyebabkan tekanan yang diberikan pada katup-katup berlebih sehingga terjadi perubahan elastisitas pada katup dan klepnya, juga gesekan antar komponen-komponen dalam kompresor menyebabkan kompresor tidak bekerja dengan baik. Berikut ini hasil vibrasi frekuensi pembandingan yang diperoleh

$f_i$	Frekuensi (Hz)	Power dB		
		Sumbu x	Sumbu y	Sumbu z
$F_1$	48	-44	-53	-36
$F_2$	94	-77	-67	-50
$F_3$	142	-51	-53	-36
$F_4$	189	-71	-85	-63
$F_5$	397	-78	-64	-56

### 4.3 Interpretasi Data dan Analisis Hasil Spektrum

Setelah hasil pengukuran didapatkan langkah selanjutnya adalah membandingkan hasil pembacaan data spektrum FFT yang mempunyai makna berupa karakteristik vibrasi yang berkaitan dengan adanya berbagai macam kondisi unit mesin outdoor AC.

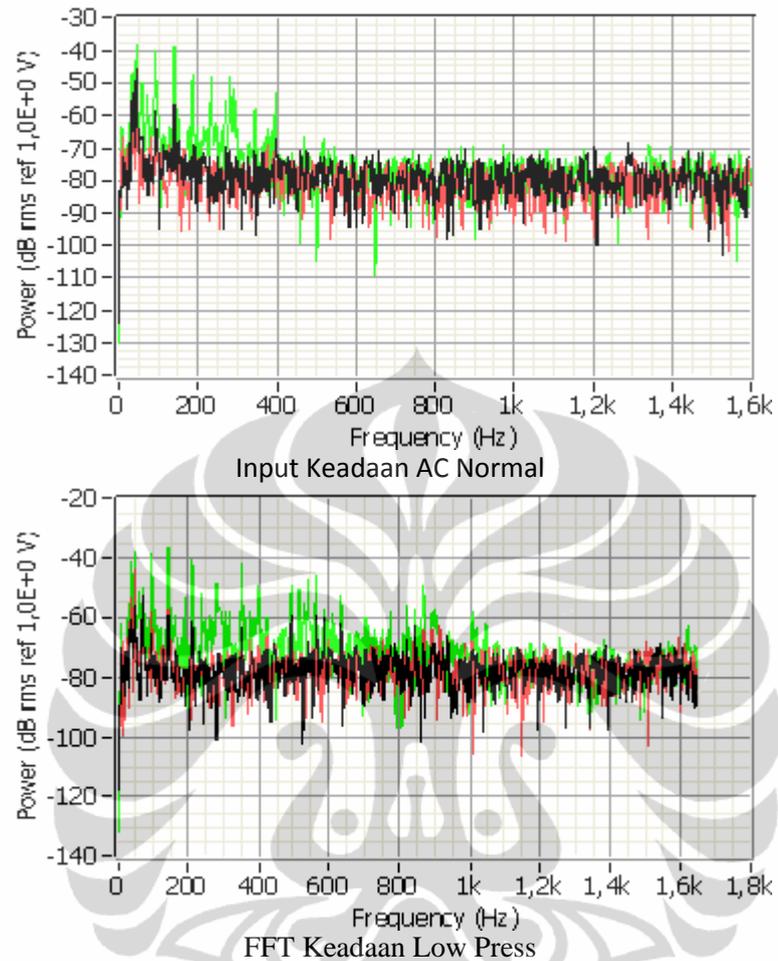
#### Perbandingan Spektrum Keadaan Normal Mesin Outdoor AC dengan Spektrum Keadaan High Press AC



Gambar 4.16 Perbandingan Spektrum Keadaan Normal Mesin Outdoor AC dengan Spektrum Keadaan High Press AC

Hasil yang diperoleh pada keadaan high press menunjukkan terdapat perubahan amplitudo pada frekuensi perbandingan serta timbulnya frekuensi baru yang dominan, sehingga jumlah peak atas -60 dB secara pengamatan lebih banyak.

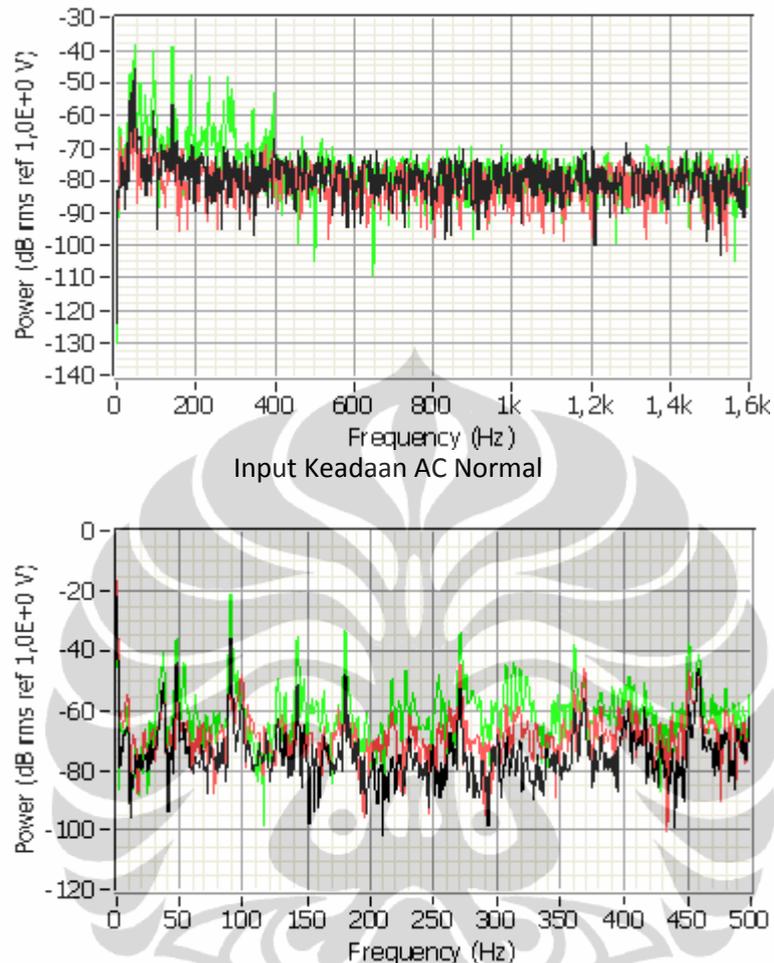
**Perbandingan Spektrum Keadaan Normal Mesin Outdoor AC dengan Spektrum Keadaan Low Press AC**



Gambar 4.17 Perbandingan Spektrum Keadaan Normal Mesin Outdoor AC dengan Spektrum Keadaan Low Press AC

Hasil yang diperoleh pada keadaan Low press menunjukkan terdapat perubahan amplitudo pada frekuensi perbandingan serta timbulnya frekuensi baru yang dominan, sehingga jumlah peak atas -60 dB secara pengamatan lebih banyak.

### Perbandingan Spectrum Keadaan Normal Mesin Outdoor AC dengan Spektrum Keadaan Kompresor yang Bermasalah



FFT Keadaan Internal Kompresor mengalami kerusakan  
Gambar 4.18 Perbandingan Spectrum Keadaan Normal Mesin Outdoor AC dengan Spektrum Keadaan Kompresor yang Bermasalah

Hasil yang diperoleh pada keadaan internal kompresor mengalami kerusakan menunjukkan terdapat perubahan amplitudo pada frekuensi pembanding serta timbulnya frekuensi baru yang dominan, sehingga jumlah peak atas -60 dB secara pengamatan lebih banyak.

#### 4.4 Pemantauan Kondisi Kerusakan Mesin Pendingin Ruangan

Program pemantauan kondisi kerusakan unit mesin pendingin ruangan dibuat dengan menggunakan software LabVIEW 8.5. Program grafik ini merupakan pengembangan pengolahan data spektrum FFT dari data yang diperoleh oleh LabVIEW Signal Express 2.5. Pemantauan kondisi dibuat berdasarkan jumlah

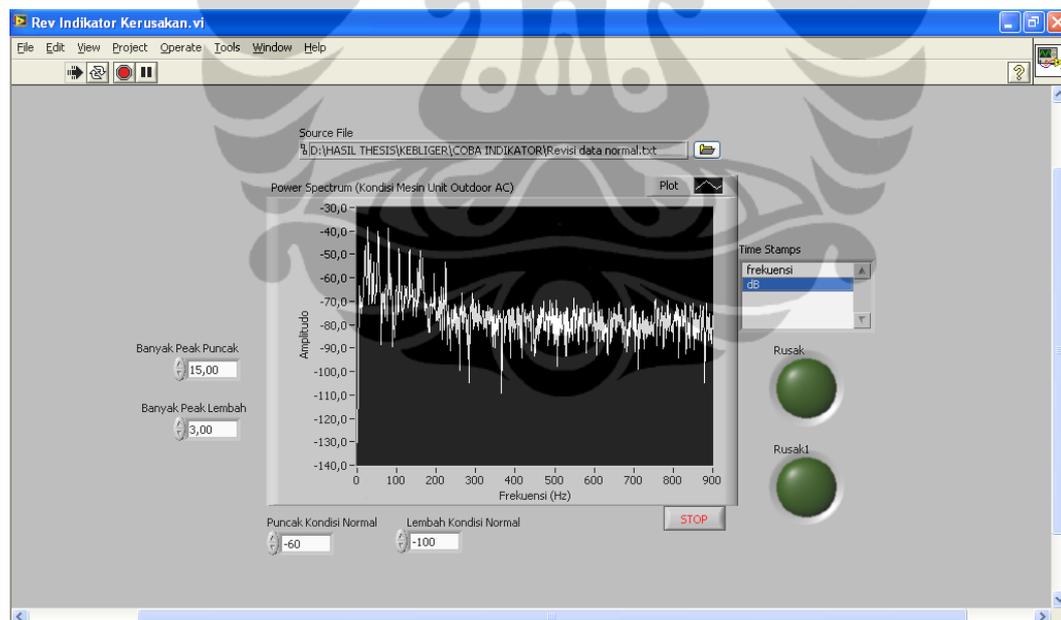
perbedaan peak yang terjadi pada kondisi normal dengan kondisi yang tidak normal. Diagram alir program monitoring kondisi kerusakan AC [lampiran 6]

#### 4.5 Hasil Pemantauan Kondisi dengan Menggunakan Program LabVIEW

Pembuatan program yang dimaksud adalah untuk membantu mengeksekusi hasil spektrum yang telah didapatkan, sehingga memberikan gambaran yang mudah dimengerti oleh kita akan kondisi sebenarnya dari mesin apakah dalam kondisi baik dengan cara panel indikasi kerusakan tidak menyala atau telah terjadi kerusakan dengan indikasi minimal salah satu tombol indikasi kerusakan menyala.

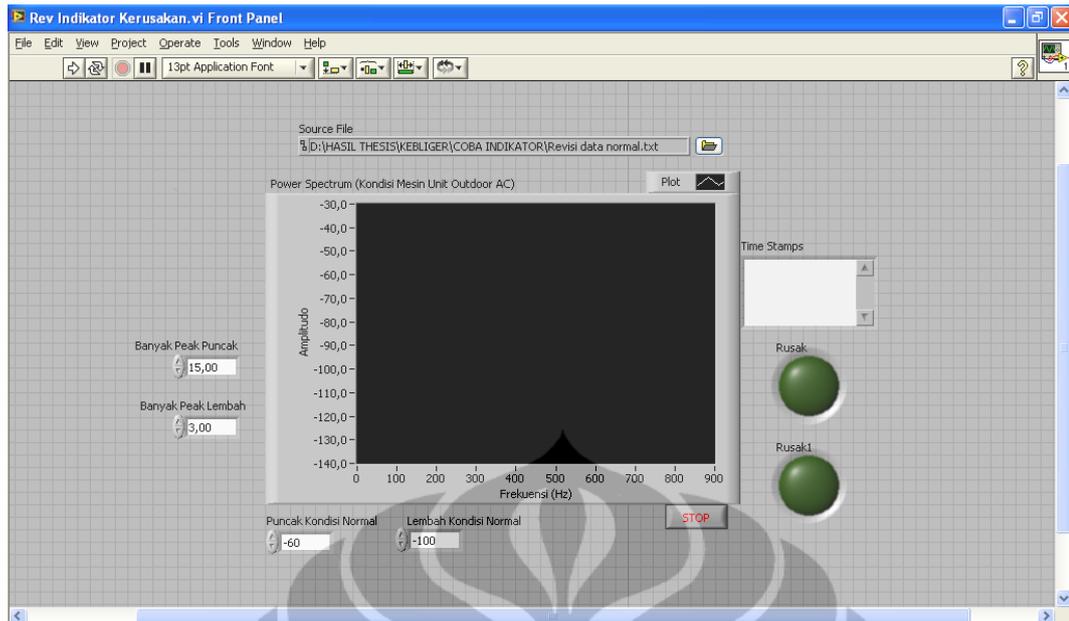
Tombol indikasi kerusakan ada 2 buah, yang pertama mengindikasikan keadaan **Rusak** menandakan jumlah peak puncak yang terjadi melebihi batas threshold keadaan normal, sedangkan keadaan **Rusak I** menandakan terjadinya kerusakan akibat keadaan jumlah threshold peak lembah melebihi batas kondisi normal.

##### Pada Kondisi Mesin unit outdoor AC dalam Keadaan Normal



Gambar 4.19 Pemantauan kondisi spektrum pada kondisi mesin normal

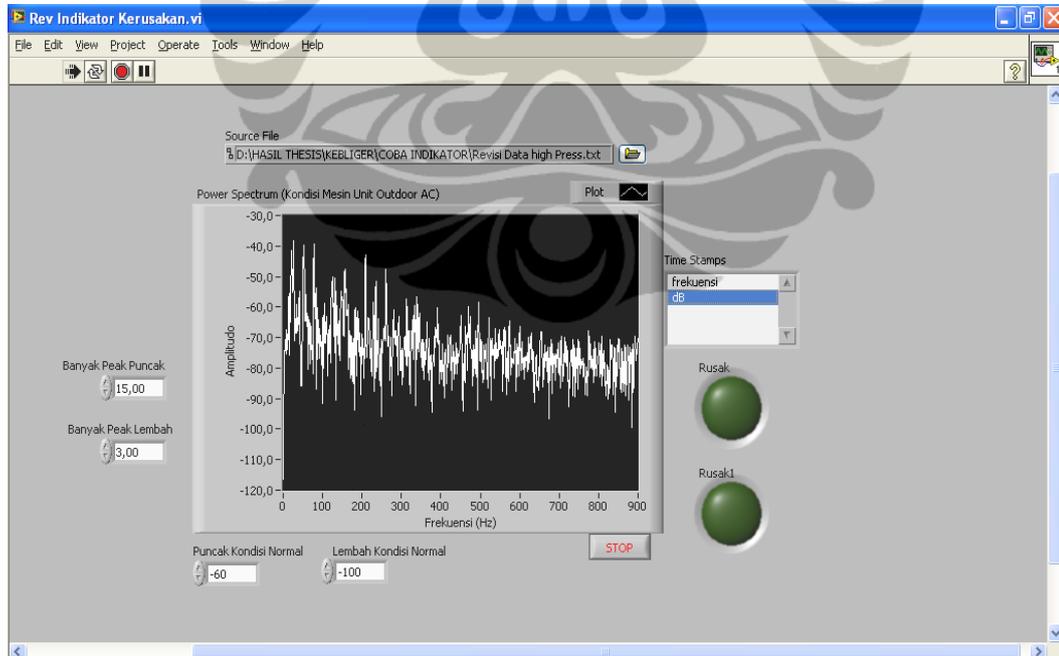
Batasan puncak normal yang diberikan adalah -60 dB dan batas bawahnya -100 dB, batasan banyaknya peak puncak 15 buah, sedangkan peak lembahnya 3 buah.



Gambar 4.20 tidak ada indikasi kerusakan yang terjadi pada keadaan normal

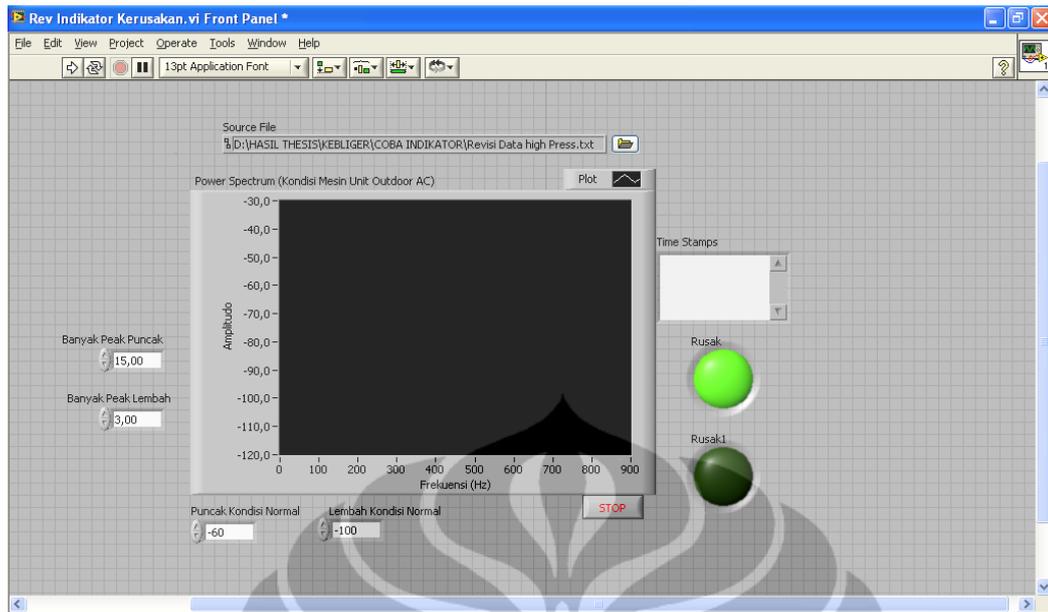
Ketika tombol STOP ditekan tidak ada indikator rusak yang nyala, yang berarti kerusakan tidak terjadi.

### Pada Kondisi Mesin unit outdoor AC pada Keadaan High Pressure



Gambar 4.21 Pemantauan Kondisi pada keadaan High Press

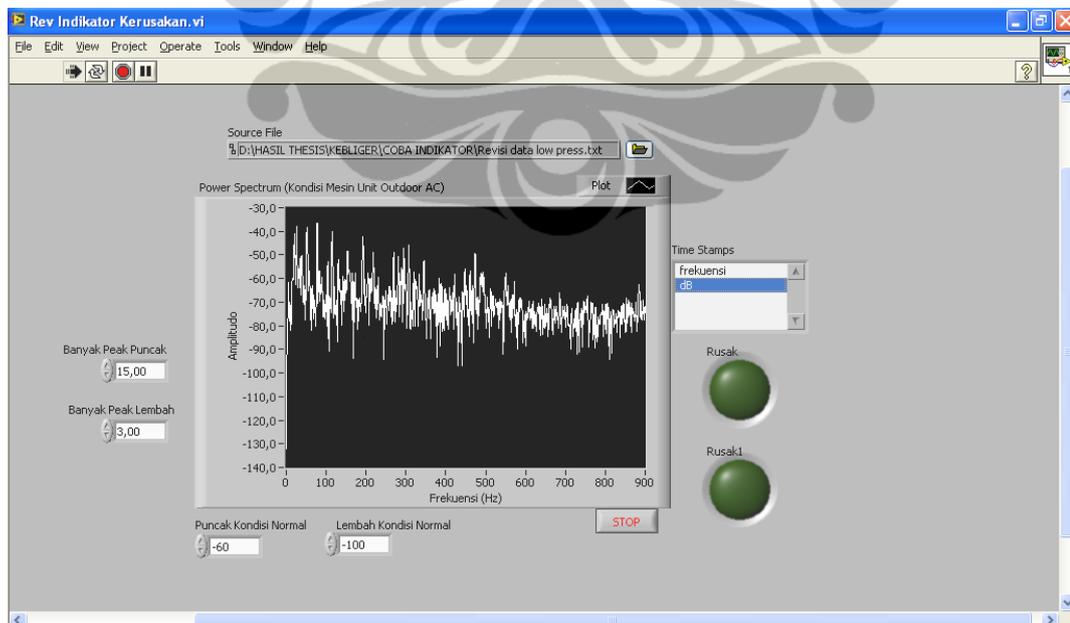
Batasan puncak normal yang diberikan adalah -60 dB dan batas bawahnya -100 dB, batasan banyaknya peak puncak 15 buah, sedangkan peak lembahnya 3 buah.



Gambar 4.22 Terjadi indikasi kerusakan dengan menyalnya indikator

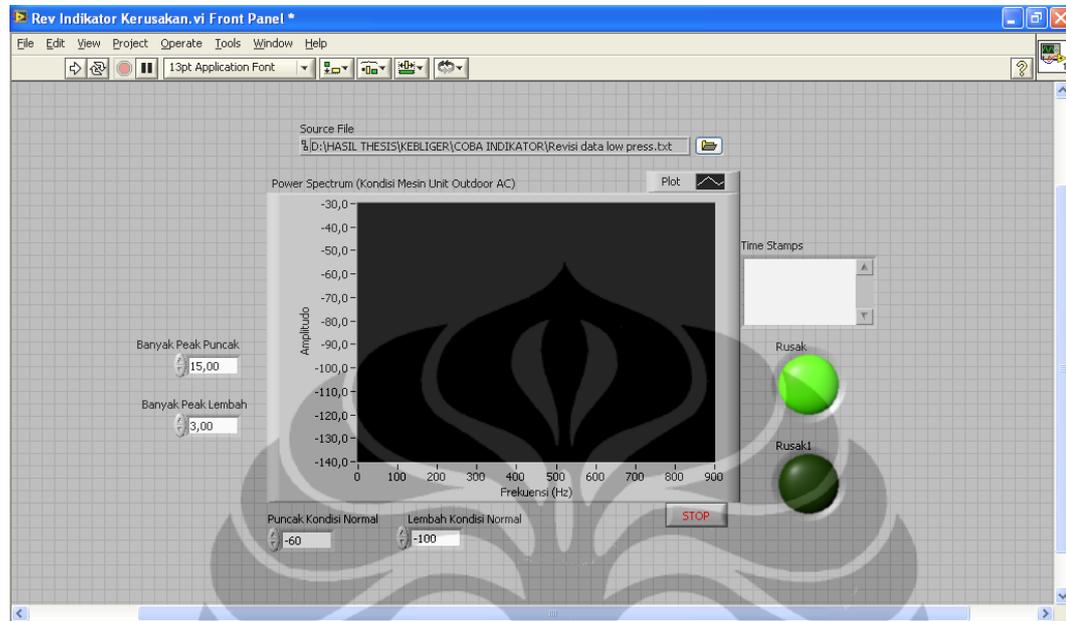
Ketika tombol STOP ditekan ada indikator rusak yang nyala, yaitu indikator rusak hal ini terjadi dikarenakan jumlah peak yang melewati batasan peak puncak jumlahnya melebihi 15 peak dan ini mengindikasikan telah terjadi kerusakan.

### Pada Kondisi Mesin unit outdoor AC dalam Keadaan Low Pressure



Gambar 4.23 Pemantauan Kondisi Pada keadaan low pressure

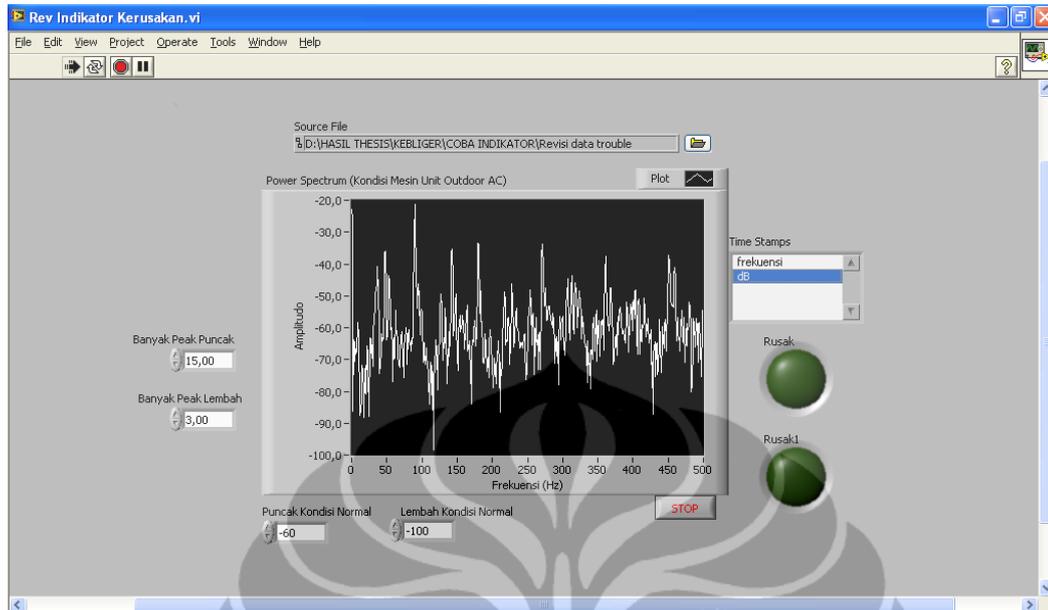
Batasan puncak normal yang diberikan adalah -60 dB dan batas bawahnya -100 dB, batasan banyaknya peak puncak 15 buah, sedangkan peak lembahnya 3 buah.



Gambar 4.24 Terjadi indikasi kerusakan dengan menyalnya indikator

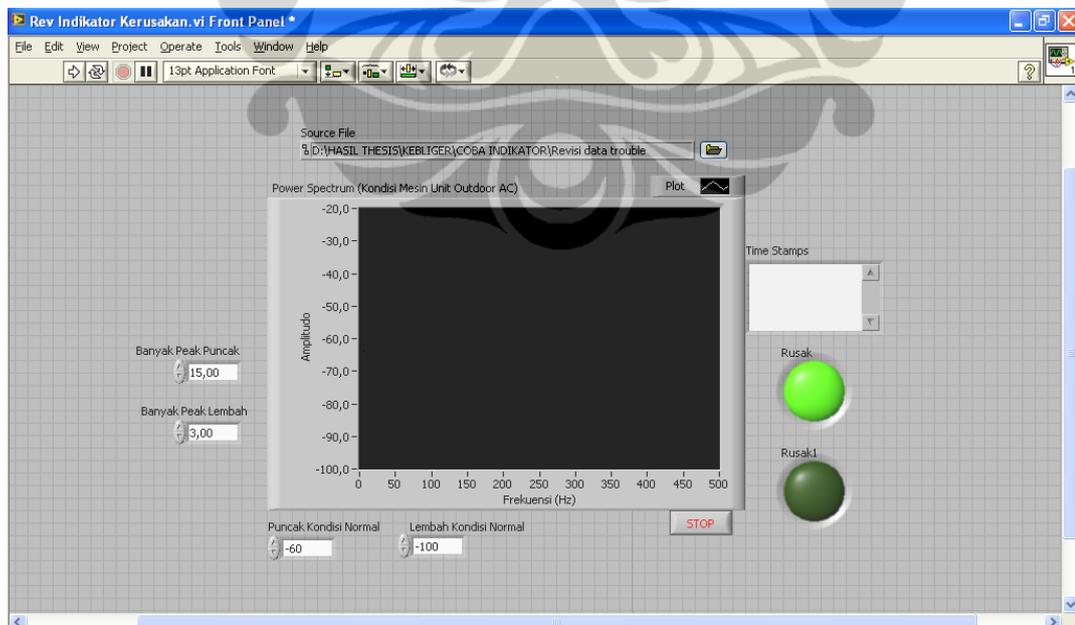
Ketika tombol STOP ditekan ada indikator rusak yang nyala, yaitu indikator rusak hal ini terjadi dikarenakan jumlah peak yang melewati batasan peak puncak jumlahnya melebihi 15 peak dan ini mengindikasikan telah terjadi kerusakan.

**Pada Kondisi Mesin unit outdoor AC dalam Keadaan Kompresor mengalami masalah pada bagian komponen dalamnya**



Gambar 4.25 Pemantauan Kondisi pada keadaan internal kompresor bermasalah

Batasan puncak normal yang diberikan adalah -60 dB dan batas bawahnya -100 dB, batasan banyaknya peak puncak 15 buah, sedangkan peak lembahnya 3 buah.



Gambar 4.26 Terjadi indikasi kerusakan dengan menyalnya indikator

Ketika tombol STOP ditekan ada indikator rusak yang nyala, indikator yang rusak ini terjadi dikarenakan jumlah peak yang melewati batasan peak puncak

jumlahnya melebihi 15 peak dan ini mengindikasikan telah terjadi kerusakan pada unit mesin tersebut.



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### Kesimpulan

1. Telah dibuat rangkaian instrumentasi vibrasi dan program monitoring kondisi kerusakan yang digunakan untuk mendeteksi dan mengidentifikasi ketidak optimalan fungsi kerja (kerusakan) dari unit mesin outdoor AC dengan kerusakan yang sering terjadi yaitu kerusakan yang menyebabkan terjadinya high pressure dan low pressure pada kompresor, juga kerusakan internal komponen kompresor.
2. Vibrasi yang dihasilkan pada kondisi normal terdapat frekuensi dominan yaitu pada frekuensi 48 Hz, 92 Hz, 142 Hz, 189 Hz, 397 Hz dan nilai amplitudo diatas -60 dB terdapat 15 puncak serta 3 lembah pada amplitudo dibawah -100 dB, berikut tabel lengkapnya

F <sub>i</sub>	Frekuensi (Hz)	Power dB		
		Sumbu x	Sumbu y	Sumbu z
F <sub>1</sub>	48	-45	-57	-37
F <sub>2</sub>	94	-61	-62	-39
F <sub>3</sub>	142	-60	-61	-42
F <sub>4</sub>	189	-72	-67	-50
F <sub>5</sub>	397	-68	-74	-52

3. Terjadi perubahan nilai Amplitudo pada frekuensi pembanding untuk kondisi tidak normal (High Pressure, Low Pressure, dan internal kompresor)
4. Terjadi frekuensi dominan baru pada kondisi tidak normal sehingga jumlah peak yang timbul menjadi lebih banyak.
5. Perubahan bentuk spektrum FFT yang dihasilkan pada unit mesin outdoor AC merk sharp tipe AU-A5EY2 untuk tiap kondisi bisa menjadi informasi tentang kondisi unit mesin AC tersebut. Hal ini bisa dilihat dari program pemantauan kondisi yang dibuat oleh penulis.

#### Saran

1. Perlu ditambahkan parameter pengukuran lain sebagai pembanding metode analisa vibrasi yang digunakan oleh penulis untuk deteksi kerusakan yang terjadi.
2. Melengkapi program monitoring kondisi kerusakan dengan jumlah peak yang dihasilkan untuk masing-masing kondisi bukan dengan perhitungan manual.

3. Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut, sebaiknya program yang dibuat menggunakan intelijen buatan sehingga variabel pendeteksian terhadap kerusakan bisa lebih kompleks dan cepat.



## DAFTAR REFERENSI

1. Lita, I., Visan, D.A., Mujea, G., Ghita, D. (2005). LabVIEW Application for Analysis of mechanical Vibration from Industrial Environmaent, 28<sup>th</sup> int. Spring Seminar on Elect. Technology
2. Anuar, K., Azid, I. D., Shahr, A. Md., Sidek, O. (2006). Development of Integrated Detection System for Shock Vibration by using MEMS Accelerometer, ICSE2006, Kuala lumpur, Malaysia
3. Ashby, D., dkk, (2008), Circuit Design: Know it all, Newnes, Elsevier.
4. Piersol, A. G., Paez, T. L., (2010). Harris' Shock and Vibration Handbook, 6<sup>th</sup> ed., McGraw Hill.
5. De Silva, C.W,(edt), (2007), Vibration Monitoring, Testing, and Instrumentation. CRC Taylor & Francis.
6. Handoko, j., (2009). Merawat dan Memperbaiki AC, Kawah Media, Jakarta.
7. Scheffer, C., Girdhar, P., (2004). Practical Machinery Vibration Analysis & Predictive Maintenance, Newnes, Elsevier.
8. Wang, Shan K., (2001). Handbook of Air Conditioning and Refrigeration, 2nd, McGraw Hill.
9. NI, (2004). Signal Express: Getting Started with Signal Express. National Instruments.
10. <http://www.iyangmulia.com/?p=451>, Kerusakan Yang Sering Terjadi Pada Unit AC.
11. Taylor, J.L., The Vibration Analysis Handbook, 1<sup>st</sup> ed.
12. Vibrasi's blog, (2009), Teori Vibrasi, <http://vibrasi.wordpress.com/>

## Lampiran 1

### Datasheet Accelerometer ADXL 330

**ADXL330**

### SPECIFICATIONS

$T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = 3\text{ V}$ ,  $C_X = C_Y = C_Z = 0.1\ \mu\text{F}$ , acceleration = 0 g, unless otherwise noted. All minimum and maximum specifications are guaranteed. Typical specifications are not guaranteed.

Table 1.

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
<b>SENSOR INPUT</b>					
Measurement Range	Each axis	$\pm 3$	$\pm 3.6$		g
Nonlinearity	% of full scale		$\pm 0.3$		%
Package Alignment Error			$\pm 1$		Degrees
Interaxis Alignment Error			$\pm 0.1$		Degrees
Cross Axis Sensitivity <sup>1</sup>			$\pm 1$		%
<b>SENSITIVITY (RATIOMETRIC)<sup>2</sup></b>					
Sensitivity at $X_{OUT}$ , $Y_{OUT}$ , $Z_{OUT}$	Each axis $V_S = 3\text{ V}$	270	300	330	mV/g
Sensitivity Change Due to Temperature <sup>3</sup>	$V_S = 3\text{ V}$		$\pm 0.015$		%/ $^\circ\text{C}$
<b>ZERO g BIAS LEVEL (RATIOMETRIC)</b>					
0 g Voltage at $X_{OUT}$ , $Y_{OUT}$ , $Z_{OUT}$	Each axis $V_S = 3\text{ V}$	1.2	1.5	1.8	V
0 g Offset vs. Temperature			$\pm 1$		mg/ $^\circ\text{C}$
<b>NOISE PERFORMANCE</b>					
Noise Density $X_{OUT}$ , $Y_{OUT}$			280		$\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ rms
Noise Density $Z_{OUT}$			350		$\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ rms
<b>FREQUENCY RESPONSE<sup>4</sup></b>					
Bandwidth $X_{OUT}$ , $Y_{OUT}$ <sup>5</sup>	No external filter		1600		Hz
Bandwidth $Z_{OUT}$ <sup>5</sup>	No external filter		550		Hz
$R_{FLT}$ Tolerance			$32 \pm 15\%$		k $\Omega$
Sensor Resonant Frequency			5.5		kHz
<b>SELF TEST<sup>6</sup></b>					
Logic Input Low			+0.6		V
Logic Input High			+2.4		V
ST Actuation Current			+60		$\mu\text{A}$
Output Change at $X_{OUT}$	Self test 0 to 1		-150		mV
Output Change at $Y_{OUT}$	Self test 0 to 1		+150		mV
Output Change at $Z_{OUT}$	Self test 0 to 1		-60		mV
<b>OUTPUT AMPLIFIER</b>					
Output Swing Low	No load		0.1		V
Output Swing High	No load		2.8		V
<b>POWER SUPPLY</b>					
Operating Voltage Range		1.8		3.6	V
Supply Current	$V_S = 3\text{ V}$		320		$\mu\text{A}$
Turn-On Time <sup>7</sup>	No external filter		1		ms
<b>TEMPERATURE</b>					
Operating Temperature Range		-25		+70	$^\circ\text{C}$

<sup>1</sup> Defined as coupling between any two axes.

<sup>2</sup> Sensitivity is essentially ratiometric to  $V_S$ .

<sup>3</sup> Defined as the output change from ambient-to-maximum temperature or ambient-to-minimum temperature.

<sup>4</sup> Actual frequency response controlled by user-supplied external filter capacitors ( $C_X$ ,  $C_Y$ ,  $C_Z$ ).

<sup>5</sup> Bandwidth with external capacitors =  $1/(2 \times \pi \times 32\text{ k}\Omega \times C)$ . For  $C_X$ ,  $C_Y = 0.003\ \mu\text{F}$ , bandwidth = 1.6 kHz. For  $C_Z = 0.01\ \mu\text{F}$ , bandwidth = 500 Hz. For  $C_X$ ,  $C_Y = 10\ \mu\text{F}$ , bandwidth = 0.5 Hz.

<sup>6</sup> Self-test response changes cubically with  $V_S$ .

<sup>7</sup> Turn-on time is dependent on  $C_X$ ,  $C_Y$ ,  $C_Z$  and is approximately  $160 \times C_X$  or  $C_Y$  or  $C_Z + 1\text{ ms}$ , where  $C_X$ ,  $C_Y$ ,  $C_Z$  are in  $\mu\text{F}$ .

## Lampiran 2 Datasheet Daq Card 6008

### Specifications

The following specifications are typical at 25 °C, unless otherwise noted.

#### Analog Input

Converter type .....	Successive approximation
Analog inputs.....	8 single-ended, 4 differential, software selectable
Input resolution	
USB-6008.....	12 bits differential, 11 bits single-ended
USB-6009.....	14 bits differential, 13 bits single-ended
Max sampling rate <sup>1</sup>	
Single channel	
USB-6008.....	10 kS/s
USB-6009.....	48 kS/s
Multiple channels (aggregate)	
USB-6008.....	10 kS/s
USB-6009.....	42 kS/s
AI FIFO .....	512 bytes
Timing resolution .....	41.67 ns (24 MHz timebase)
Timing accuracy .....	100 ppm of actual sample rate
Input range	
Single-ended.....	±10 V
Differential .....	±20 V, ±10 V, ±5 V, ±4 V, ±2.5 V, ±2 V, ±1.25 V, ±1 V
Working voltage .....	±10 V
Input impedance .....	144 kΩ
Overvoltage protection .....	±35

Trigger source ..... Software or external digital trigger

System noise

USB-6008, differential..... 1.47 mVrms  
 USB-6009, single-ended..... 2.93 mVrms  
 USB-6009, differential..... 0.37 mVrms  
 USB-6009, single-ended..... 0.73 mVrms

Absolute accuracy at full scale, single ended

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum over Temperature (mV)
±10	14.7	138

Absolute accuracy at full scale, differential<sup>1</sup>

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum over Temperature (mV)
±20	14.7	138
±10	7.73	84.8
±5	4.28	58.4
±4	3.59	53.1
±2.5	2.56	45.1
±2	2.21	42.5
±1.25	1.70	38.9
±1	1.53	37.5

<sup>1</sup> Input voltages may not exceed the working voltage range.

## Analog Output

Converter type ..... Successive approximation

Analog outputs ..... 2

Output resolution..... 12 bits

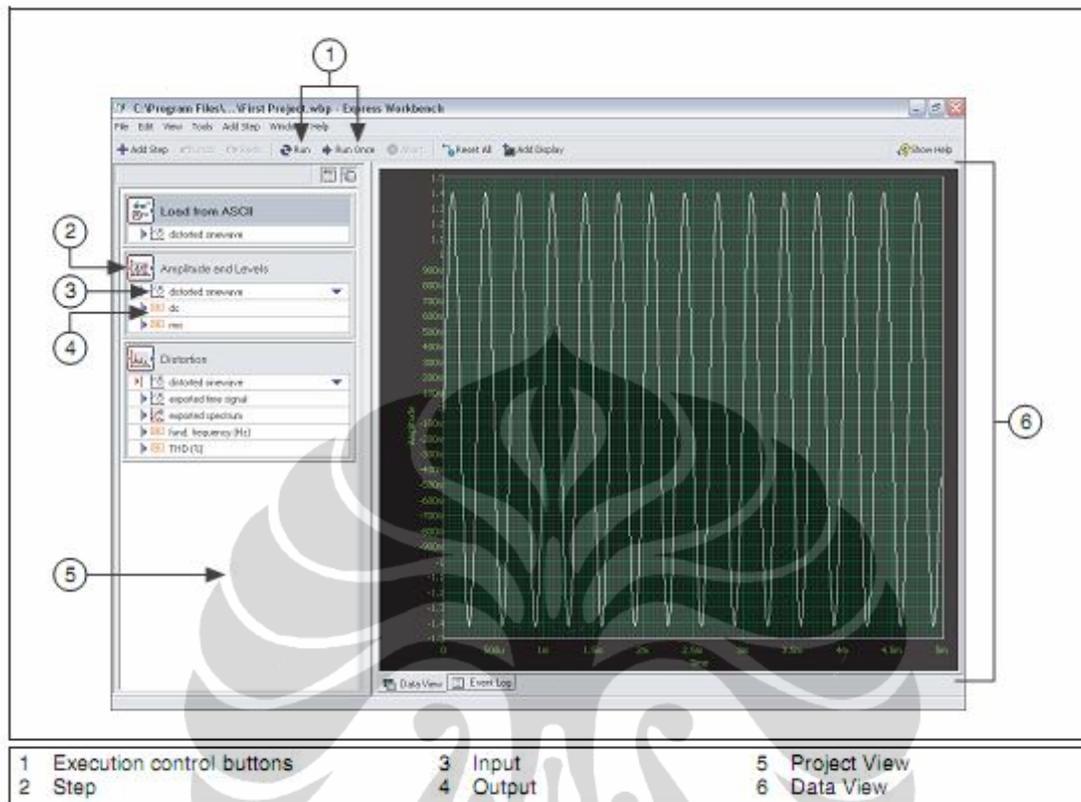
Maximum update rate ..... 150 Hz, software-timed

Output range..... 0 to +5 V

Output impedance ..... 50 Ω

### Lampiran 3

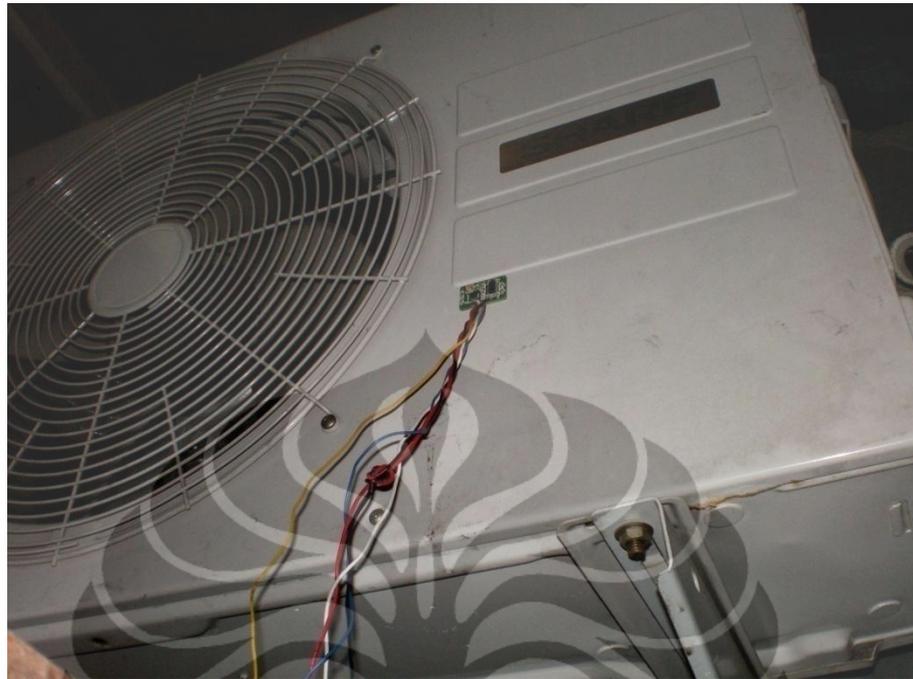
#### Tampilan awal LabVIEW Signal Express 2.5



#### Keterangan :

1. Execution control buttons = merupakan kontrol utama
2. Step = Langkah perintah untuk pengolahan data
3. Input = data yang akan di olah
4. Output = Hasil keluaran data
5. Project View = hasil file save
6. Data view = melihat hasil input sinyal yang berasal dari sensor

#### Lampiran 4 Foto Penempatan Sensor



Posisi penempatan sensor dipilih berdasarkan tingkat getaran yang paling besar berdasarkan pengukuran menggunakan sentuhan tangan.

## Lampiran 5 Spesifikasi Unit Mesin Outdoor AC Sharp

Sharp Split type

Room Air Conditioner mode AU-A7LY2

Rated voltage : 220 V

Rated Frequency : 50 Hz

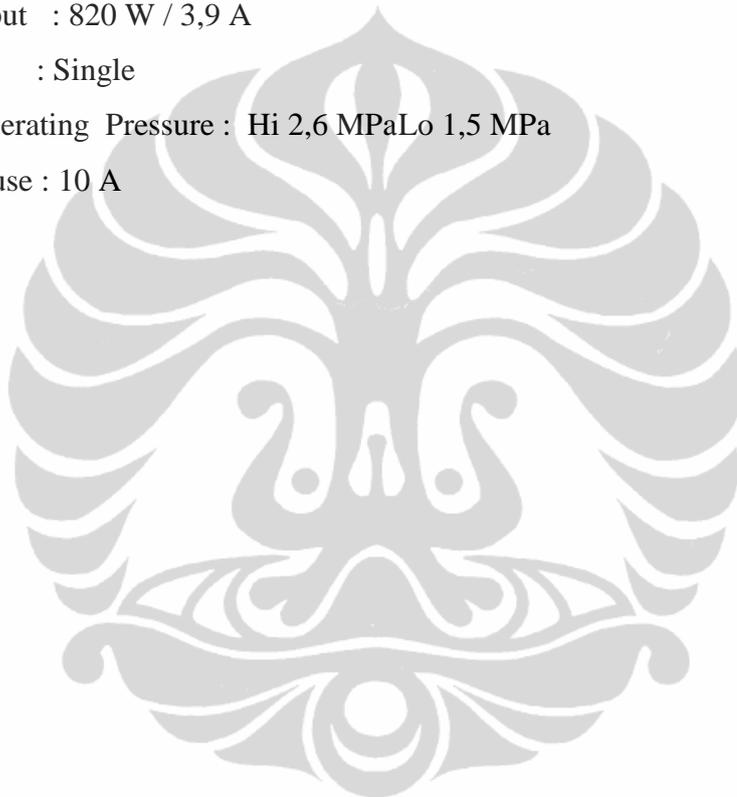
Rated input : 670 W / 3,3 A

Maximum input : 820 W / 3,9 A

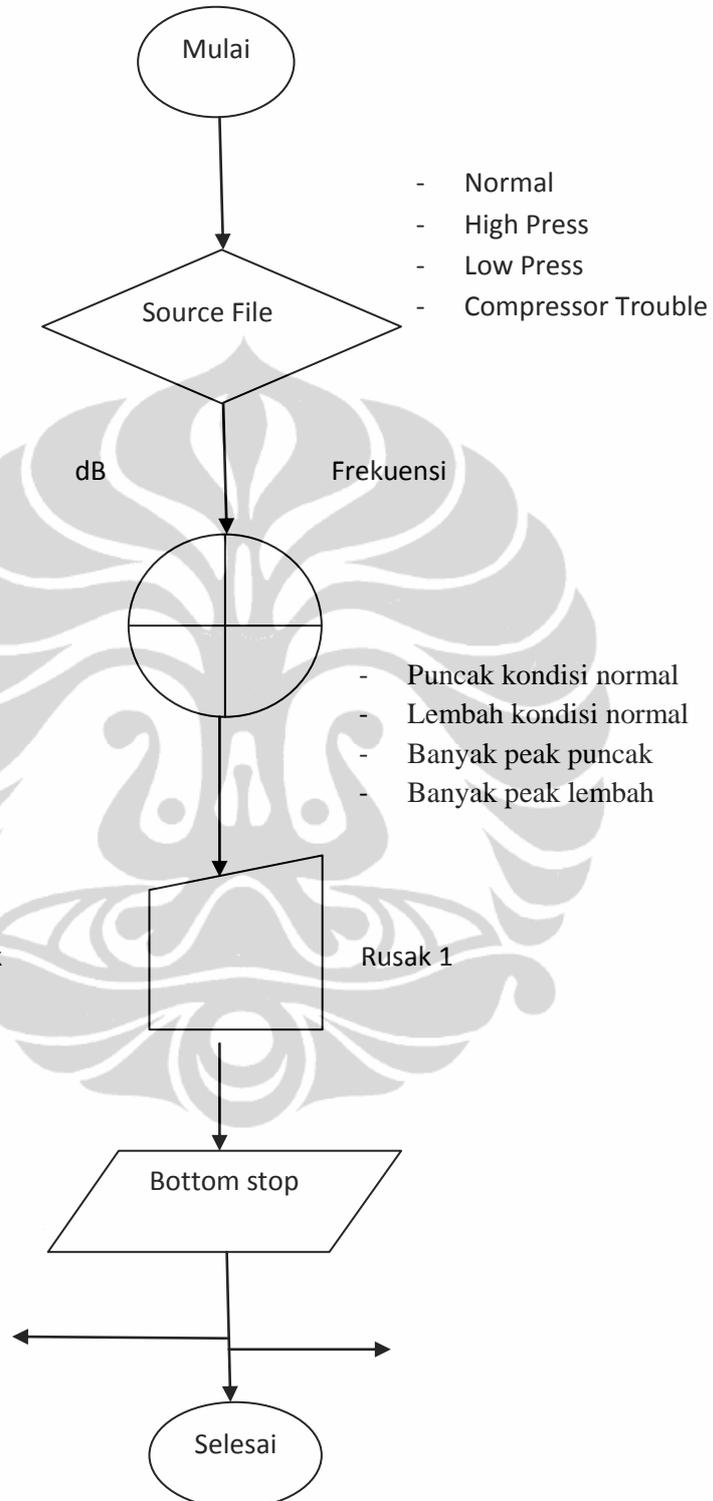
Phase : Single

Maximum Operating Pressure : Hi 2,6 MPaLo 1,5 MPa

Time Delay fuse : 10 A



**Lampiran 6**  
**Flow Chart Program Monitoring Kondisi Kerusakan**



## Lampiran 7

## Blok Diagram Pemantauan Kondisi Kerusakan AC

