

**ANALISIS SINYAL GETARAN PADA MESIN  
BERPUTAR MENGGUNAKAN METODE *FAILURE*  
*ANALYSIS***

*Vibration Analysis of Rotating Machine Using Failure Analysis Method*

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi syarat menyelesaikan pendidikan  
Diploma IV Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur  
di Jurusan Teknik Mesin

Oleh :

Ariesa Prisilia Yustin

NIM : 1041704



**POLITEKNIK MANUFaktur NEGERI  
BANGKA BELITUNG**

**2021**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS SINYAL GETARAN PADA MESIN  
BERPUTAR MENGGUNAKAN METODE FAILURE  
ANALYSIS

Penulis:

Ariesa Prisilia Yustin

NIM: 1041704

Penguji:

1. Ketua : Fajar Aswin, S.S.T., M.Sc *fa*
2. Anggota : Yuli Dharta, S.S.T., M.T *YD*
3. Anggota : Indra Feriadi, S.S.T., M.T *if*

Tugas Akhir ini telah disidangkan pada tanggal 23 Februari 2021

Dan disahkan sesuai dengan ketentuan.

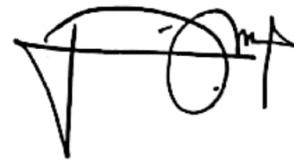
Pembimbing Utama,



Fajar Aswin, S.S.T., M.Sc

NIP: 198403162018031001

Pembimbing Pendamping,



Angga Sateria, S.S.T., M.T

NIP: 198805222019031011

Ketua Jurusan,


Pristiansyah, S.S.T., M.Eng

NIP: 198801242019031008

## ABSTRAK

Penelitian ini dititikberatkan pada analisis getaran domain frekuensi yang terjadi pada mesin berputar dengan tiga macam kerusakan yang diteliti yakni, *unbalance*, *mechanical looseness*, dan *bearing defect* dengan kondisi yang menyesuaikan masing-masing kerusakan. Diagnosis kerusakan melalui sinyal getaran yang diperoleh berdasarkan ciri frekuensi khusus yang menandai timbulnya cacat atau rusak yang kemudian dianalisis dengan metode *failure analysis*. Hasil akhir yang diperoleh setelah dilakukan pengujian ialah bahwa metode *failure analysis* dapat menentukan satu kesimpulan kerusakan di masing-masing data getaran yang telah diambil. Seperti kerusakan *unbalance* yang ditunjukkan pada *peak* amplitudo tinggi pada frekuensi 1x RPM (31,25 Hz), hasil kerusakan *bearing defect* yakni ditunjukkan pada *peak* amplitudo tinggi pada frekuensi 1x BSF (49,82 Hz), dan *mechanical looseness* pada 0,5x, 1x, 2x, 3x RPM.

**Kata kunci:** sinyal getaran, domain frekuensi, FFT, *failure analysis*

## **ABSTRACT**

*This research emphasized with the vibration analysis (frequency domain) of rotating machine with 3 type of failures such as unbalance, mechanical looseness, and bearing defect in which has been setted adjusting to each of the failures. Diagnosing failures by vibration signal that obtain by specific frequency that showing the failure or defect followed by analyzing using failure analysis method. The final result obtained after experiment is that failure analysis method can determine one failure mode in each of the data that has been taken. Such as, unbalance failure mode is indicated high amplitude peak at a frequency of 1x RPM (31,25 Hz), bearing defect failure mode is indicated high amplitude peak at 1x BSF (49,82 Hz), and mechanical looseness is indicated high amplitude peak at 0,5x, 1x, 2x, 3x RPM.*

*Keywords: vibration signal, frequency domain, FFT, failure analysis*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, karena berkat dan rahmat-Nyalah penulis dapat menyelesaikan laporan akhir ini. Serta Shalawat beserta salam penulis ucapkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, yang telah membawa umat manusia ke zaman yang penuh ilmu pengetahuan. Tugas akhir “Analisis sinyal getaran pada mesin berputar menggunakan metode *failure analysis*” merupakan salah satu syarat wajib setiap mahasiswa untuk memenuhi persyaratan Pendidikan Diploma IV Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Karya tulis ini berisikan hasil penelitian yang penulis lakukan selama program Tugas Akhir berlangsung. Adanya media pembelajaran ini diharapkan dapat membantu mahasiswa yakni sebagai salah satu referensi untuk melakukan penelitian yang serupa di masa depan. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian proyek akhir ini:

1. Orang tua dan keluarga penulis yang telah banyak memberikan dukungan baik materil maupun moril serta iringan doa.
2. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng, Ph.D selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
3. Bapak Pristiansyah S.S.T., M.Eng. selaku Ka. Jurusan Teknik Mesin dan Manufaktur.
4. Bapak Boy Rollastin S.Tr., M.T. selaku Ka. Prodi D4 Teknik Mesin dan Manufaktur.
5. Bapak Fajar Aswin, S.S.T., M.Eng. selaku pembimbing I.
6. Bapak Angga Sateria, S.S.T., M.T. selaku pembimbing II.
7. Seluruh dosen dan instruktur yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
8. Orang-orang terdekat yang telah memberikan semangat dan dukungan serta doa bagi penulis.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini jauh dari kata sempurna, terutama dalam segi isi karena keterbatasan waktu dan hambatan yang penulis hadapi. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari pembaca agar dapat lebih baik kedepannya. Besar harapan penulis semoga makalah ini dapat memberikan manfaat dan motivasi bagi pembaca khususnya dan baik bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Sungailiat, 12 Maret 2021

Ariesa Prisilia Yustin

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>ABSTRAK</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>BAB I</b> .....	I-1
<b>PENDAHULUAN</b> .....	I-1
1.1 Latar Belakang.....	I-1
1.2 Perumusan Masalah.....	I-3
1.3 Tujuan Penelitian.....	I-3
1.4 Batasan Masalah.....	I-3
<b>BAB II</b> .....	I-1
<b>LANDASAN TEORI</b> .....	I-1
2.1 Pemantauan Getaran .....	I-1
2.2 Fast Fourier Transform.....	I-9
2.3 Metode failure analysis.....	I-10
<b>BAB III</b> .....	I-1
<b>METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	I-1
3.1 Studi Literatur.....	I-2
3.2 Perancangan Konsep FA .....	I-2
3.2.1 Pengumpulan Data Getaran.....	I-3

3.2.2	Analisis.....	I-3
3.2.3	Menentukan <i>Failure mode</i> .....	III-4
3.3	Simulasi .....	I-5
3.4	Eksperimen .....	I-6
3.5	Kesimpulan.....	I-6
<b>BAB IV</b>	.....	<b>V-1</b>
<b>PEMBAHASAN</b>	.....	<b>IV-1</b>
4.1	Rancangan Konsep FA .....	V-1
4.2	Simulasi .....	V-4
4.3	Eksperimen .....	V-10
4.3.1	Kondisi Normal.....	V-11
4.3.2	Kondisi <i>Unbalance</i> .....	IV-12
4.3.3	Kondisi <i>Mechanical looseness</i> .....	IV-13
4.3.4	Kondisi <i>Bearing Defect</i> .....	IV-14
<b>BAB V</b>	.....	<b>V-1</b>
<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	.....	<b>V-1</b>
5.1	Kesimpulan.....	V-1
5.2	Saran .....	V-1
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>xii</b>
<b>LAMPIRAN</b>	.....	<b>xv</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik dan satuan getaran .....	I-5
Tabel 4.1 Rancangan konsep FA .....	IV-1
Tabel 4.2 Frekuensi rusak <i>ball bearing</i> tipe ABS no. 6203.....	IV-5
Tabel 4.3 Hasil penelitian data sekunder .....	IV-9
Tabel 4.4 Kesimpulan hasil data simulasi.....	IV-10
Tabel 4.5 Frekuensi rusak <i>single row ball bearing</i> tipe SKF 1621 rs .....	IV-16
Tabel 4.6 Hasil penelitian data primer .....	IV-17

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem getaran sederhana .....	I-2
Gambar 2.2 Karakteristik Gelombang Getaran.....	II-3
Gambar 2.3 Amplitudo kecepatan.....	II-4
Gambar 2.4 Amplitudo akselerasi.....	II-5
Gambar 2.5 Diagram skematis sistem pemantauan kondisi mesin .....	II-6
Gambar 2.6 Gelombang dari dua buah gelombang sinus .....	II-8
Gambar 2.7 Sinyal dalam domain waktu dan frekuensi .....	II-8
Gambar 2.8 Tahap analisis kegagalan .....	II-11
Gambar 2.9 Prosedur analisis kegagalan .....	II-12
Gambar 2.10 Tren kenaikan amplitudo getaran akibat kerusakan komponen..	II-13
Gambar 2.11 <i>Static unbalance</i> .....	II-13
Gambar 2.11 <i>Couple unbalance</i> .....	II-14
Gambar 2.11 <i>Dynamic unbalance</i> .....	II-14
Gambar 2.14 Bagian-bagian <i>bearing</i> .....	II-15
Gambar 3.1 Flowchart metode penelitian .....	III-2
Gambar 3.2 Flowchart rancangan konsep FA.....	III-3
Gambar 3.3 Desain eksperimen .....	III-6
Gambar 4.1 <i>Decision Tree</i> dominan frekuensi FA .....	IV-3
Gambar 4.2 <i>Bearing defect</i> BPF1 Suhardjono .....	IV-6
Gambar 4.3 <i>Decision Tree failure mode bearing defect</i> Suhardjono .....	IV-6
Gambar 4.4 FFT <i>Unbalance</i> Plante dkk .....	IV-7
Gambar 4.5 <i>Decision Tree failure mode unbalance</i> Plante dkk .....	IV-8
Gambar 4.6 FFT <i>Mechanical looseness</i> Plante dkk .....	IV-8
Gambar 4.7 <i>Decision Tree failure mode mechanical looseness</i> Plante dkk .....	IV-9
Gambar 4.8 Frekuensi pribadi.....	IV-11
Gambar 4.9 Kondisi normal mesin .....	IV-11
Gambar 4.10 Sinyal getaran pada domain frekuensi yang muncul akibat <i>unbalance</i> .....	IV-12
Gambar 4.11 <i>Decision Tree failure mode unbalance</i> eksperimen .....	IV-13

Gambar 4.12 Sinyal getaran pada domain frekuensi yang muncul akibat *mechanical looseness* ..... IV-13

Gambar 4.13 *Decision Tree failure mode mechanical looseness* eksperimen. IV-14

Gambar 4.14 Sinyal getaran pada domain frekuensi yang muncul akibat *bearing defect* ..... V-16



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Seiring berjalannya waktu, semakin banyak informasi dan inovasi baru yang bermunculan dan dijadikan sebagai referensi dalam sebuah proses perkembangan teknologi, guna untuk mempermudah manusia dalam melakukan aktivitasnya. Seperti di dunia perawatan permesinan yang semakin hari semakin membutuhkan cara yang lebih mudah dan juga cepat untuk mengetahui kerusakan pada sebuah mesin. Mesin berputar merupakan contoh mesin yang memerlukan waktu tidak sedikit dalam menentukan kerusakannya. Selain itu, pemilihan metode yang tepat dalam mendeteksi kerusakan tersebut juga mempengaruhi hasil kesimpulan analisis.

Tentunya sudah banyak penelitian yang memfokuskan bagaimana cara mendeteksi atau bahkan memprediksi kerusakan dari sebuah mesin yang berputar. Seperti contohnya, dengan menganalisis hasil pemantauan getaran dari bagian-bagian mesin yang berputar (Poddar dan Tandon, 2019). Pemantauan getaran adalah salah satu teknik yang dianggap akurat dan hemat biaya jika dibandingkan dengan teknik lainnya (Plante dkk, 2015). Getaran berlebihan yang muncul dapat menyebabkan kelelahan mesin yang kemudian mempengaruhi performa mesin saat beroperasi. Dengan mengukur dan menganalisis data getaran tersebut, dengan jelas dapat mendeteksi kerusakan-kerusakan mesin seperti *unbalance, mechanical looseness, misalignment, bearing defect, gearmesh, oil weird* (Contretas, 2002).

Analisis kegagalan masih belum cukup umum digunakan dalam dunia perawatan permesinan dalam menentukan serta memprediksi kerusakan dari mesin. Dikarenakan hal itu, penelitianpun dilakukan dengan bertujuan untuk mengetahui apakah metode *failure analysis* yang berdasarkan sinyal getaran juga memiliki fungsi yang sama seperti metode lainnya untuk digunakan dalam menentukan penyebab kerusakan suatu mesin.

Untuk menentukan keaslian penelitian, ada beberapa judul yang bisa dibandingkan, seperti tugas akhir yang berjudul Identifikasi Kerusakan Mesin Berputar berdasarkan Sinyal Suara dengan Metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) (Miftahuddin, 2019). Dalam penelitian ini memiliki kesamaan variabel terkait yaitu, menganalisis atau mengidentifikasi kerusakan pada mesin berputar. Tetapi perbedaan terletak pada variabel bebasnya, yaitu metode serta cara yang digunakan untuk menentukan kerusakan mesin berputarnya berdasarkan sinyal suara dengan menggunakan metode ANFIS. Selain itu (Grega dkk, 2017), telah melakukan analisis kegagalan terhadap getaran yang ditimbulkan oleh *driveshaft* pada bagian bak truk. Dalam kasus yang diselesaikan dari analisis berdasarkan eksperimen pengukuran, dapat dinyatakan bahwa mereka tidak mengkonfirmasi spekulasi sumber eksitasi getaran yang menyebabkan kegagalan *driveshaft* pada bagian bak truk adalah mekanisme penggerakannya. Sebaliknya, dari hasil pengukuran mereka dapat mengidentifikasi sumber getaran dan karenanya eksitasi osilasi dominan menyebabkan kegagalan *driveshaft* berasal dari pembakaran internal mesin. Kemudian ada juga yang meneliti kegagalan blok rem metalik kereta api menggunakan metode *failure analysis* (Arisandi dan Senoaji, 2014). Adapun hasil dari analisis penyebab kegagalan pada kasus ini ialah, peneliti dapat menyimpulkan kegagalan terjadi karena dipengaruhi oleh pencairan lokal yang disebabkan karena blok rem tersebut memiliki karbon ekuivalen yang terlalu dekat dengan titik eutektiknya dan juga dipengaruhi oleh bentuk geometri blok rem yang tidak sesuai dengan spesifikasinya, kondisi pemeliharaan yang tidak sesuai dengan standard sehingga mempengaruhi fungsi pengereman dan menghasilkan gesekan dan panas yang berlebihan. Dari ketiga penelitian sebelumnya, pengujian yang dilakukan menggunakan metode *failure analysis* rata-rata melakukan pengujian dengan cara berbeda yakni pengujian struktur material atau menganalisis kerusakan yang terjadi pada struktur materialnya sehingga memerlukan jangka waktu panjang serta mengeluarkan biaya yang lebih banyak untuk alat uji yang akan digunakan.

Maka itu, akan dilakukan analisis sinyal getaran pada mesin berputar dengan menggunakan metode *failure analysis*. Hasil dari analisis tersebut harapannya dapat dimanfaatkan untuk:

- Membuktikan bahwa analisis sinyal getaran menggunakan metode *failure analysis* dapat dilakukan untuk mengetahui kerusakan pada mesin berputar.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan dalam penelitian ini secara detail dirumuskan sebagai berikut:

- Bagaimana menentukan kondisi mesin yang mengalami kerusakan *unbalance, mechanical looseness* dan *bearing fault* dengan menggunakan metode *failure analysis*.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tugas akhir yang berjudul “Analisis Sinyal Getaran Pada Mesin Berputar Menggunakan Metode *Failure Analysis*”, ini bertujuan untuk:

- Mengetahui apakah analisis getaran menggunakan metode *failure analysis* dapat menentukan jenis kerusakan mesin berputar.

## **1.4 Batasan Masalah**

Melihat permasalahan mengenai getaran begitu kompleksnya, maka dalam penelitian ini penulis membatasi masalah sebagai berikut:

- Pengujian hanya dilakukan pada mesin berputar yang dijadikan media pembelajaran mahasiswa di ruang praktikum bengkel POMAN BABEL, berupa motor listrik tipe 2424P dengan maksimal putaran 3450 RPM, poros berputar yang menyambungkan 2 buah rumah bantalan beserta *wheel* yang berada di tengah-tengah antara 2 buah rumah bantalan tersebut.
- *Bearing unit* yang digunakan adalah tipe *single row ball bearing* 1621 rs.
- Karakteristik getaran yang dikaji hanya memvariasikan posisi pemasangan sensor dan kondisi *bearing* normal dan dengan beban.

- Metode *failure analysis* pada penelitian ini hanya akan memprediksi 6 jenis kondisi mesin yakni:
  - *Balanced & unbalanced*
  - *Normal & Mechanical looseness*
  - *Bearing normal & Bearing rusak*

## BAB II

### LANDASAN TEORI

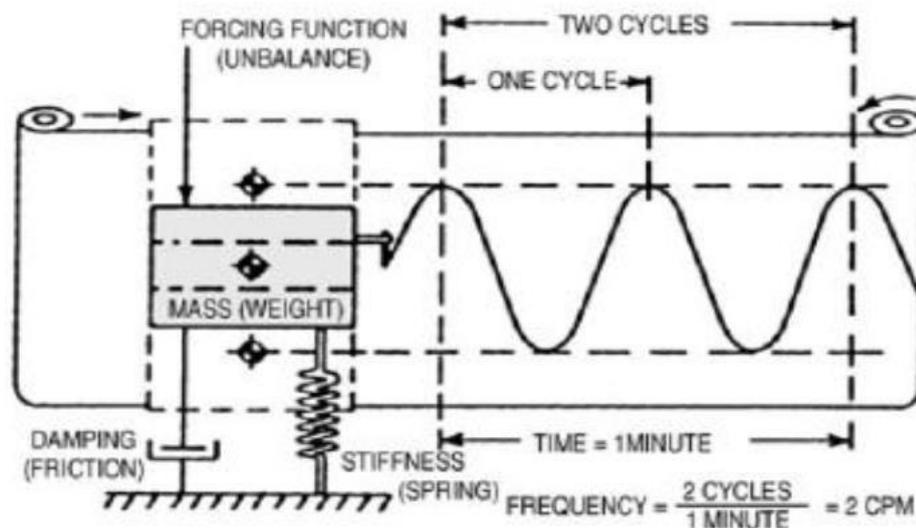
#### 2.1 Pemantauan Getaran

Sebuah mesin yang ideal sempurna pada prinsipnya tidak menimbulkan getaran sama sekali, karena seluruh energi yang dihasilkan diubah menjadi kerja. Sebagian energi salah satunya terbuang menjadi getaran. Getaran timbul akibat gaya melalui elemen-elemen mesin yang ada, dimana elemen-elemen tersebut saling bereaksi satu sama lain. Kerusakan atau keausan serta deformasi akan mengubah karakteristik dinamik sistem dan cenderung meningkatkan energi getaran.

Salah satu cara yang paling handal untuk mendeteksi awal gejala kerusakan mekanik pada peralatan adalah analisis getaran, sehingga analisis getaran saat ini menjadi pilihan teknologi *predictive maintenance* yang paling sering digunakan (Girdhar, 2004). Penggunaan analisis getaran sebagai salah satu peralatan dasar untuk memantau kondisi telah dikembangkan dengan pesat dalam periode waktu 35 tahun terakhir (Reimche dan Tandon, 2003). Dengan sejalanannya perkembangan di peralatan elektronik, transduser, komputer dan software sekarang ini pengawasan mesin hampir serba otomatis.

Pemantauan getaran didasarkan pada pemantauan yang terus-menerus pada peralatan, yang dilakukan melalui pengukuran variabel tertentu menggunakan sensor yang sesuai yang selanjutnya data ini dianalisis untuk memberikan informasi tentang mesin atau peralatan yang dipantau. Pemantauan kondisi mesin atau peralatan berarti mengumpulkan tanda-tanda elektrik atau mekanik sebuah mesin untuk menganalisis perawatan yang diperlukan, mengumpulkan informasi proses yang terjadi untuk memberikan pemahaman mendalam untuk mengadakan optimasi kerja sebuah mesin.

Getaran secara teknis didefinisikan sebagai gerak osilasi dari suatu objek terhadap posisi objek awal/diam. Gerakan massa dari posisi awal menuju atas dan bawah lalu kembali keposisi semula, dan akan melanjutkan geraknya disebut sebagai satu siklus getar. Waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus disebut sebagai periode getaran. Jumlah siklus pada suatu selang waktu tertentu disebut sebagai frekuensi getaran.



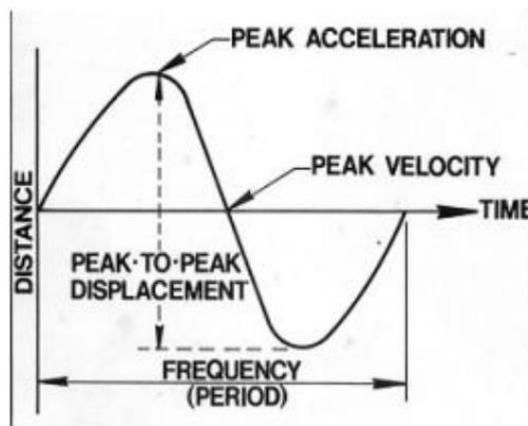
Gambar 2.1 Sistem getaran sederhana (Moblely, 2008)

Frekuensi adalah salah satu karakteristik dasar yang digunakan untuk mengukur dan menggambarkan getaran. Gerakan periodik atau getaran selalu berhubungan dengan frekuensi yang menyatakan banyaknya gerakan bolak-balik (satu siklus penuh) tiap satuan waktu. Frekuensi dari getaran tersebut biasanya dinyatakan sebagai jumlah siklus getaran yang terjadi tiap menit (CPM = *Cycles per minute*). Sebagai contoh sebuah mesin bergetar 60 kali (siklus; dalam satu menit maka frekuensi getaran mesin tersebut adalah 60 CPM. Frekuensi bisa juga dinyatakan dalam CPS (*cycles per second*) atau Hertz dan putaran dinyatakan dalam *revolution per menit* (RPM).

Amplitudo adalah pengukuran skalar yang non-negatif dari besar suatu gelombang. Amplitudo juga dapat didefinisikan sebagai besar simpangan getaran dimana amplitudo menggambarkan seberapa besar getaran terjadi pada suatu

peralatan. Amplitudo dalam sistem internasional biasa disimbolkan, dengan (A) dan memiliki satuan meter (m) (<http://id.wikipedia.org/wiki/Amplitudo>).

Getaran adalah gerakan yang berulang-ulang dalam tempo yang cepat (Mukesh). Dari pengertian tersebut maka tingkat getaran atau amplitudo getaran dapat dipresentasikan sebagaimana gerakan yaitu parameter perpindahan (*displacement*), kecepatan (*velocity*) atau percepatan (*acceleration*). Getaran sendiri merupakan sebuah gerakan yang mempunyai karakteristik sebagaimana gerakan sebuah pegas yang di petakan terhadap fungsi waktu (Rohman dan Djuniadi, 2015), seperti terlihat pada gambar 2.2 dibawah ini:



Gambar 2.2 Karakteristik Gelombang Getaran ([getaranblog.blogspot.com](http://getaranblog.blogspot.com))

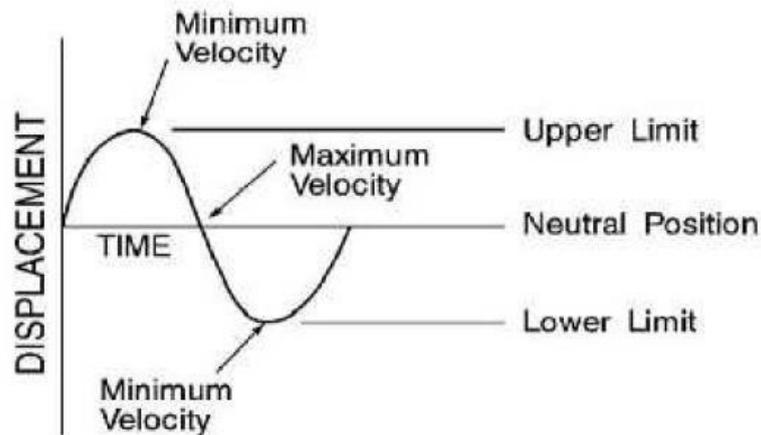
- Perpindahan (*Displacement*)

Jarak yang ditempuh dari suatu puncak (A) ke puncak yang lain (C) disebut perpindahan dari puncak ke puncak (*peak to peak displacement*). Perpindahan tersebut pada umumnya dinyatakan dalam satuan mikron ( $\mu\text{m}$ ) atau mils.  $1 \mu\text{m}$  dengan  $0,001 \text{ mm}$  dan  $1 \text{ mils}$  sama dengan  $0,001 \text{ inchi}$ .

- Kecepatan (*Velocity*)

Kecepatan pada getaran digunakan untuk mengukur seberapa cepat sebuah objek dari titik nol (*zero*) ke puncaknya (*peak*). Karena getaran

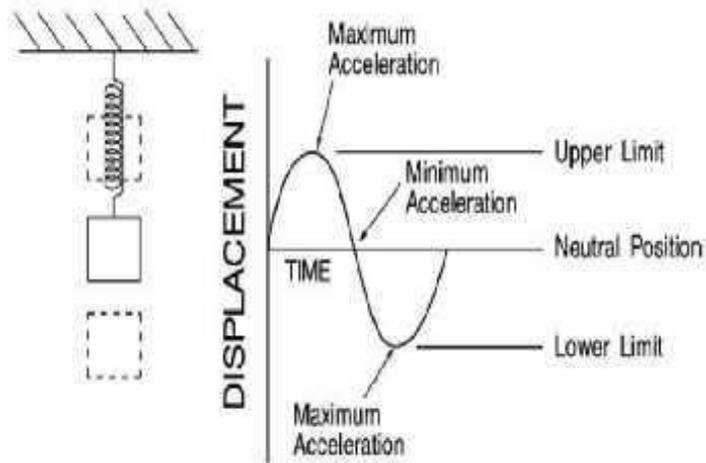
merupakan suatu gerakan, maka getaran tersebut pasti mempunyai kecepatan. Kecepatan getaran ini biasanya dalam satuan mm/det (*peak*). Karena kecepatan ini selalu berubah secara sinusoidal, maka seringkali digunakan pula satuan mm/sec (rms).



Gambar 2.3 Amplitudo kecepatan ([www.testindo.com/article/48/vibration](http://www.testindo.com/article/48/vibration))

- Percepatan (*Acceleration*)

Percepatan digunakan untuk mengukur perubahan kecepatan (*velocity*) dari titik nol (*zero*) ke *peak*. Sama dengan halnya *displacement*, dimana nilai *acceleration* pada suatu frekuensi berbeda dengan frekuensi lainnya. Pada gambar 2.3, posisi *upper limit* dan *lower limit* akan mengalami percepatan yang maksimum. Sedangkan pada posisi netral percepatan getaran adalah nol. Secara teknis percepatan adalah laju perubahan kecepatan. Percepatan getaran pada umumnya dinyatakan dalam satuan  $\text{in/s}^2$  dan  $\text{mm/s}^2$  atau gravitasi (*g*) dimana “*g*” adalah percepatan yang disebabkan oleh gaya gravitasi pada permukaan bumi. Sesuai dengan perjanjian internasional satuan gravitasi pada permukaan bumi adalah  $9807 \text{ mm/det}^2$ .



Gambar 2.4 Amplitudo akselerasi ([www.testindo.com/article/48/vibration](http://www.testindo.com/article/48/vibration))

Tabel 2.1 Karakteristik dan satuan getaran (Sumber: *Maintenance Engineering Handbook*, Mobley, 2008)

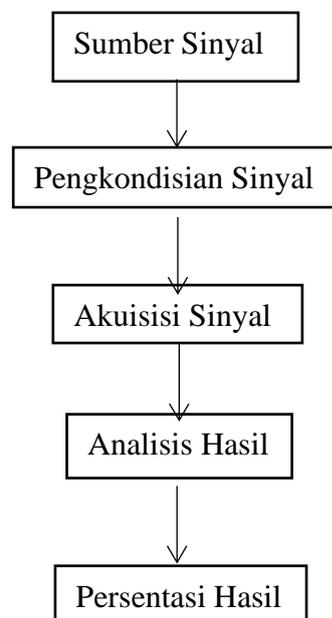
Karakteristik	Satuan	
	Metrik	British
<b>Getaran</b>		
<b>Perpindahan</b>	Microns <i>peak to peak</i> (1 $\mu\text{m} = 0,001 \text{ mm}$ )	Mils <i>peak to peak</i> (0,001 in)
<b>Kecepatan</b>	mm/s	in/s
<b>Percepatan</b>	G (1g = 980 $\text{cm/s}^2$ )	G (1g = 5386 $\text{in/s}^2$ )
<b>Frekuensi</b>	Cpm, Cps, Hz	Cpm, Cps, Hz

Karakteristik sinyal getaran yang penting untuk pemantauan kondisi mesin adalah: frekuensi, amplitudo, dan sudut fase (Kurniawan, 2013). Sistem pemantauan mesin berbasis sinyal getaran biasanya terdiri dari:

- Mesin yang akan dipantau kondisinya

- Transduser
- Kabel dan *hardware* pengkondisian sinyal
- Data akuisisi
- Komputer / PC
- *Software*

Untuk lebih jelasnya, sistem pemantauan berbasis sinyal getaran bisa digambarkan secara skematis, fungsi – fungsi dalam sistem pemantauan kondisi mesin dapat ditunjukkan seperti pada gambar 2.5 berikut:



Gambar 2.5 Diagram skematis sistem pemantauan kondisi mesin  
(Sipaulta dkk, 2014)

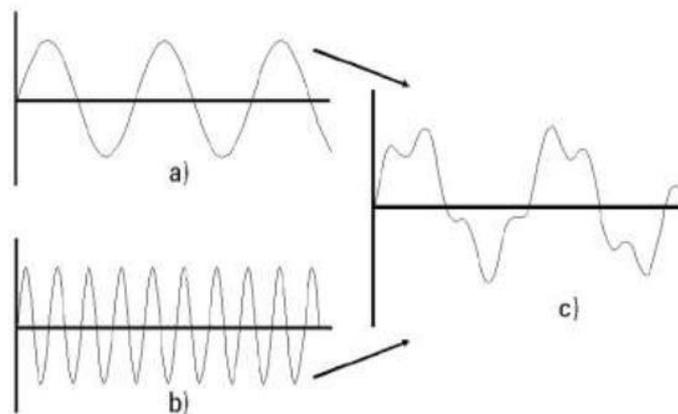
- Sumber sinyal, berasal dari komponen-komponen mesin saat beroperasi. Masing-masing komponen biasanya akan menghasilkan sinyal yang berbeda-beda.
- Pengkondisian sinyal, adalah usaha untuk menangkap sinyal yang diinginkan untuk dianalisis. Pengkondisian sinyal dilakukan melalui beberapa peralatan, baik *hardware* maupun *software*. Peralatan tersebut ialah:

- Transduser, yang digunakan untuk menangkap sinyal getaran antara lain: *akselerometer*, *velocity probe*, *displacement probe*, dan *tachometer*. Transduser yang akan digunakan dalam pengujian ini sendiri ialah *akselerometer* yang memiliki keuntungan sebagai berikut :
  - ✓ Jangkauan frekuensi yang sangat luas
  - ✓ Jangkauan amplitudo yang luas
  - ✓ Jangkauan temperatur yang besar
  - ✓ Output untuk *velocity* atau *displacement* tersedia
  - ✓ Desain industrial nya.
- Filter, untuk menghilangkan *noise* yang ada. Digunakannya filter untuk melewatkan sinyal dengan frekuensi yang diinginkan, dan meredam frekuensi yang lain. Dapat diwujudkan secara *hardware* maupun *software*.
- Akuisisi sinyal, mengubah sinyal analog ke digital.
- Analisis Hasil, dapat berupa: sinyal pada domain waktu, sinyal pada domain frekuensi (FFT), *High order* statistik sinyal, Transformasi Wavelet.

Sinyal adalah gambaran atau deskripsi tentang bagaimana suatu parameter mempengaruhi parameter lain. Misalnya voltase yang berubah setiap waktu dalam sirkuit elektronik. Sedangkan sistem merupakan suatu proses yang mengolah sinyal masukan menjadi sinyal keluaran (Smith, 1999).

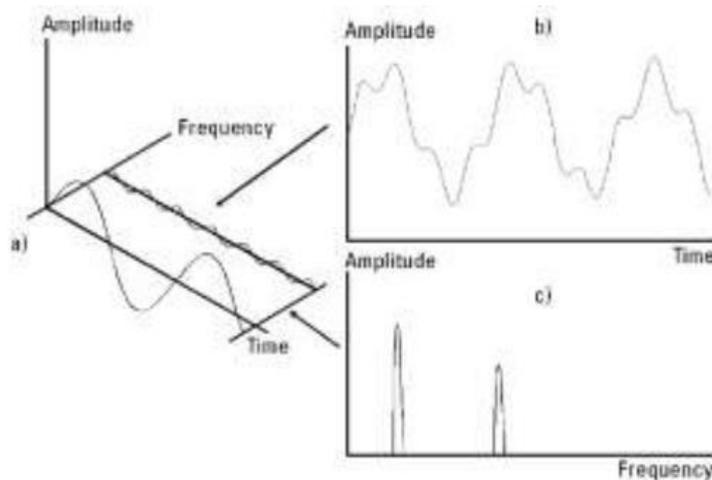
Sinyal yang diperoleh dari sensor pada pengukuran suatu getaran mesin adalah suatu respon gabungan dari suatu mesin terhadap bermacam-macam gaya eksitasi, baik dari dalam maupun luar mesin tersebut. Kunci ke arah analisis yang tepat adalah penguraian sinyal kompleks ini menjadi komponen-komponennya. Ada dua pandangan dalam persoalan analisis getaran yaitu domain waktu yang memandang getaran sebagai simpangan terhadap waktu. Dan domain frekuensi yang memandang getaran berupa amplitudo sebagai fungsi frekuensi. Domain waktu memberikan gambaran fenomena getaran secara fisik sedangkan domain frekuensi merupakan cara yang cocok untuk mengidentifikasi komponen-komponen-nya.

Bila getaran lebih dari satu komponen, maka analisis dalam domain waktu menjadi lebih sulit. Keadaan ini ditunjukkan pada gambar 2.6. Yang mewakili getaran dengan dua buah getaran sinus sebagai komponennya.



Gambar 2.6 Gelombang dari dua buah gelombang sinus (*Hawlet Packard Application Note 243-1*)

Dalam praktek tidak ada sinyal getaran yang keberadaanya langsung dalam domain frekuensi. Sinyal getaran selalu terjadi dalam domain waktu tetapi untuk keperluan analisis sinyal getaran yang dalam domain waktu ini dapat dikonversikan kedalam domain frekuensi. Ilustrasi tentang konsep data dalam domain waktu dan dalam domain frekuensi ditunjukkan dalam gambar 2.7.



Gambar 2.7 Sinyal dalam domain waktu dan frekuensi (*Hawlet Packard Application Note 243-1*)

Sinyal getaran sendiri termasuk kedalam sinyal dinamik yang memiliki fenomena fisik yang berubah-ubah dalam waktu cepat. Sinyal ini biasanya berbentuk sinyal listrik yang kemudian didigitalisasi menggunakan sebuah alat *analog digital converter* (ADC) untuk diolah lebih lanjut. Sinyal ini juga biasanya akan tercampur dengan sinyal-sinyal yang dihasilkan dari komponen lain sehingga membutuhkan metode yang tepat untuk memisahkan sinyal komponen yang diamati. Kemudian sinyal ini akan diolah untuk memperoleh informasi keadaan mesin atau peralatan yang dipantau.

## 2.2 Fast Fourier Transform

Proses konversi yang akan dilakukan dalam pengujian ini akan dilakukan menggunakan proses FFT (*Fast Fourier Transform*). *Fast Fourier Transform* (FFT) yang ditemukan tahun 1965 merupakan pengembangan dari *Fourier Transform* (FT). Penemu FT adalah J. Fourier pada tahun 1822. FT membagi sebuah sinyal menjadi frekuensi yang berbeda-beda dalam fungsi eksponensial yang kompleks.

*Fast Fourier Transform* (FFT) merupakan salah satu metode untuk transformasi sinyal suara dalam domain waktu menjadi sinyal dalam domain frekuensi, artinya proses perekaman suara disimpan dalam bentuk digital berupa gelombang spektrum suara yang berbasis frekuensi sehingga lebih mudah dalam menganalisis spektrum frekuensi suara yang telah direkam. Cara prinsip ini diterapkan memimpin ke arah suatu variasi dari algoritma yang berbeda, di mana semuanya memperbandingkan peningkatan kecepatan perhitungan (Rohman dan Djuniadi, 2015). Karena banyak sinyal-sinyal dalam sistem komunikasi yang bersifat kontinyu, sehingga untuk kasus sinyal kontinyu kita gunakan transformasi fourier.

Dapat disimpulkan bahwa pada pengukuran getaran sinyal input berupa getaran mekanik diubah oleh transduser menjadi sinyal tegangan kemudian ditransmisikan ke elemen pengkondisi sinyal, diproses oleh elemen pemroses sinyal dan akhirnya ditampilkan dalam bentuk data angka maupun grafik (*spectrum, wavefrom dan trend*). Sesuai dengan tiga besaran pada getaran maka transduser

yang digunakan untuk tugas akhir dalam pengukuran getaran adalah akselerometer. Akselerometer merupakan transduser yang paling sering dipakai karena fleksibilitasnya dan rentang frekuensinya yang tinggi. Biasanya berupa piezoelektrik yang terdiri dari kristal dan massa penekan kristal. Ketika terjadi getaran maka terjadi penekanan dan kristal akan membangkitkan muatan listrik yang kemudian di amplifikasikan sehingga sinyal getaran terbaca (Kristanto dan Zaman, 2014).

### 2.3 Metode failure analysis

Ada beberapa metode yang bisa digunakan dalam proses mengolah data, contohnya FMEA dan FTA. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) merupakan metode *risk assessment* yang lebih fokus pada kegagalan dan menggunakan skala-skala tertentu dalam melakukan penilaian risiko (Dailey, 2004). Ini adalah metode yang sangat masuk akal dan cepat jika dilaksanakan tepat waktu. Namun terdapat kekurangan dari metode ini ialah :

- Implementasi metode membutuhkan input yang cukup besar, karena lebih banyak detail proses mengarah pada peningkatan geometrik di area yang dianalisis, dan jumlah kejadian yang memengaruhi tumbuh secara bersesuaian.
- Sulit untuk memperkirakan keadaan kegagalan sebagian dari bagian-bagian proses, karena penggunaan metode umumnya menunjukkan bahwa prosesnya baik dalam kondisi baik atau dalam keadaan rusak.
- Ini membutuhkan pakar keandalan dengan pengetahuan mendalam tentang proses.

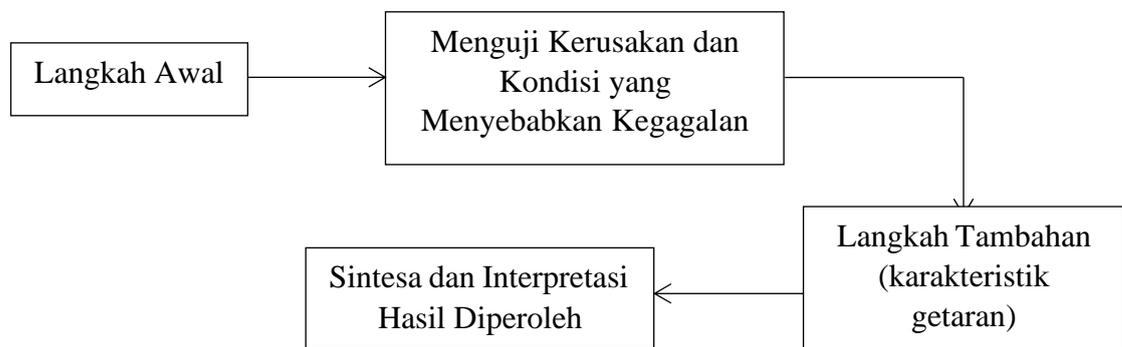
*Fault Tree Analysis* (FTA) merupakan metode *risk assessment* yang bersifat deduktif serta fokus pada kegagalan serta memberikan perkiraan yang menyebabkan kegagalan tersebut (Marvahilas, 2010).

a) Pengalaman dan pengetahuan yang banyak diperlukan untuk membuat bangunan pohon yang tepat. Kesalahan memasukkan sebuah masukan dapat menyebabkan memberikan hasil yang tidak benar.

b) Sulit untuk memilih gerbang logika yang paling tepat di saluran penghubung dan hal ini dapat menimbulkan secara luas variasi-variasi nilai yang dihasilkan.

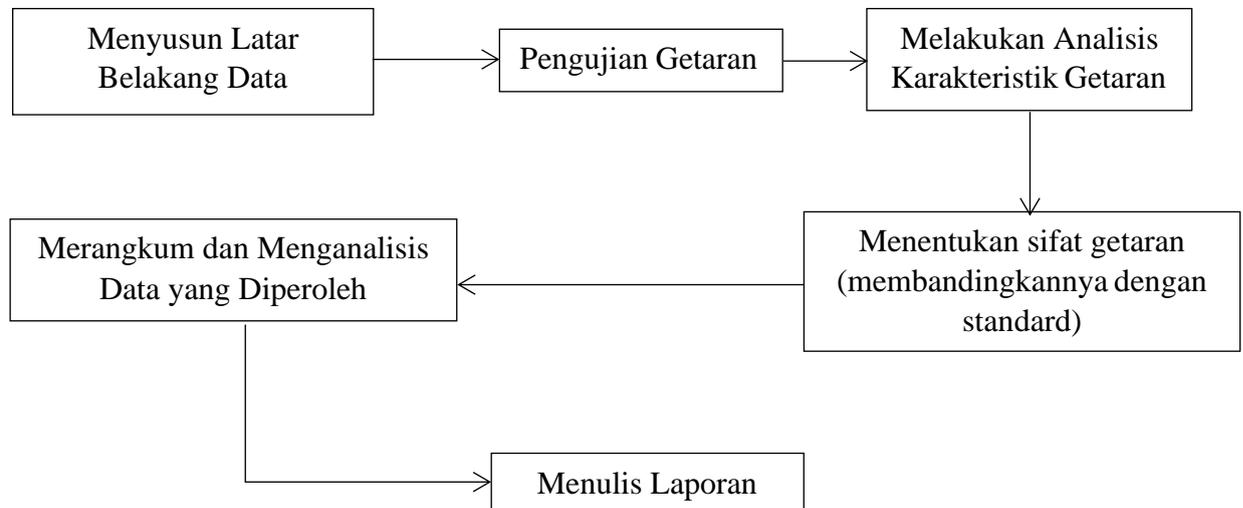
Sehingga metode yang akan digunakan dalam penelitian ini ialah *failure analysis* (FA) karena dalam segi waktu lebih singkat pengerjaannya dibandingkan dengan metode lain. Berdasarkan teorinya, analisis kegagalan adalah kegiatan atau usaha untuk menyelidiki sebab-sebab kegagalan suatu komponen. Untuk memperoleh keputusan apakah komponen dari mesin layak diperbaiki atau tidaknya, beberapa indikasi dipelajari dan diteliti. Modus kegagalan sendiri bisa berupa keausan, yang paling ekstrim bisa terjadi adalah dimana jika komponen mengalami patah atau pecah. Mesin akan mengalami kegagalan saat komponen sudah menyebabkan getaran atau bahkan melampaui batas kondisi kerja.

Tahapan-tahapan yang dilakukan pada analisis kegagalan ditetapkan pada gambar 2.8 berikut:



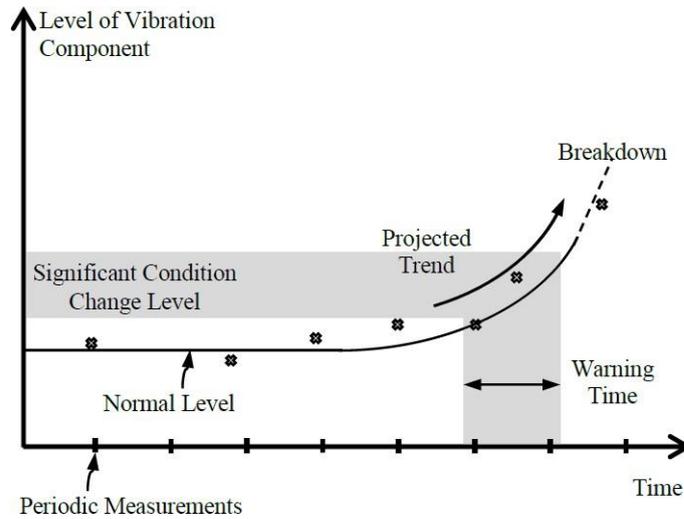
Gambar 2.8 Tahap Analisis Kegagalan (Arisandi dan Senoaji, 2014)

Sedangkan prosedur yang harus dilaksanakan dalam melakukan analisis kegagalan dapat ditunjukkan pada gambar 2.9 sebagai berikut:



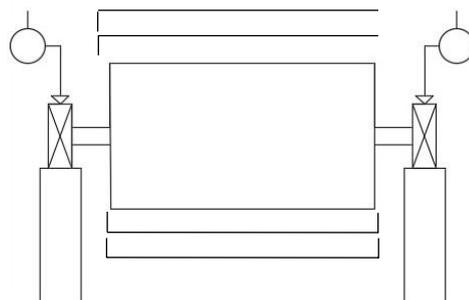
Gambar 2.9 Prosedur analisis kegagalan (Arisandi dan Senoaji, 2014)

Tingkat kerusakan dapat dideteksi dengan adanya kenaikan amplitudo getaran, dimana frekuensi getaran tetap konstan sesuai dengan jenis kerusakan pada komponen. Menurut N.N (1989), diketahui bahwa untuk mesin normal (kondisi baik) menunjukkan amplitudo getaran yang relatif konstan selama kondisi normal, tetapi saat mulai terjadi kerusakan pada saat itu juga mulai menunjukkan kenaikan amplitudo getaran (*vibration level*) yang cukup besar, jika hal tersebut terjadi maka mesin pun sudah harus dilakukan reparasi atau dilakukan pergantian komponen yang rusak. Kondisi ini dapat ditunjukkan pada gambar 2.10.

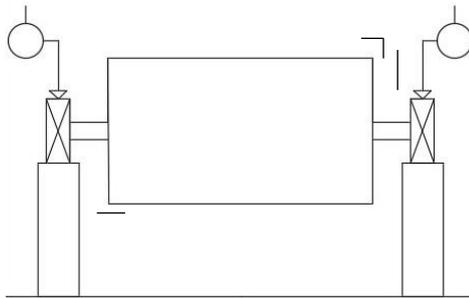


Gambar 2.10 Tren kenaikan amplitudo getaran akibat kerusakan komponen

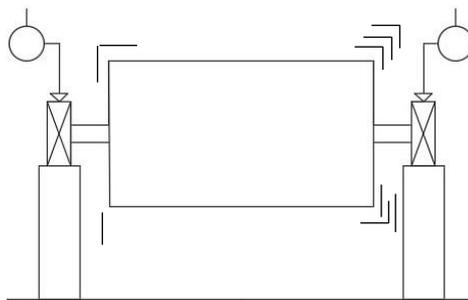
Analisis spektrum sinyal getaran yang dilakukan dapat mengetahui berbagai permasalahan yang terjadi pada mesin dengan melihat dominan frekuensi yang muncul. Grafik dari masing-masing kerusakan serta dominan spektrumnya dapat dilihat pada tabel dominan frekuensi *failure mode* menurut literatur di lampiran 2. Berikut merupakan penjelasan tabel serta beberapa contoh gambar motor yang mengalami kerusakan *unbalance*.



Gambar 2.11 *Static Unbalance*



Gambar 2.12 *Couple Unbalance*



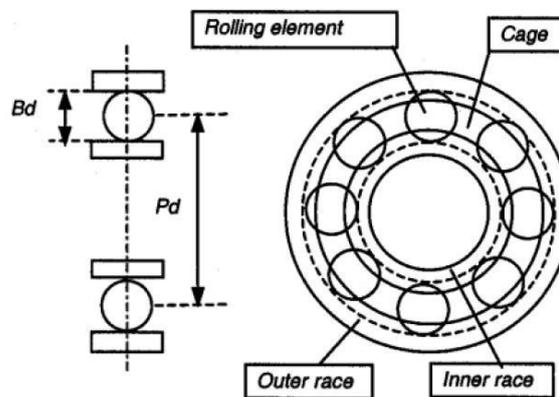
Gambar 2.13 *Dynamic Unbalance*

Dari tabel lampiran 2, terdapat beberapa kerusakan yang disertakan kemunculan dominan frekuensi masing-masing. Menurut Charlotte (2000), kerusakan pertama ialah *failure mode unbalance*, yang merupakan kerusakan yang sering terjadi pada pada mesin yang menyebabkan getaran dimana pusat massa tidak sesumbu dengan sumbu rotasi. *Unbalance* terdiri dari 4 macam yakni *static unbalance*, *couple unbalance*, *dynamic unbalance*, dan *overhung unbalance*. Dari 4 macam *unbalance* tersebut dominan frekuensi diketahui akan terlihat pada 1x RPM baik dalam arah *radial* maupun *axial*.

Kedua, *failure mode mechanical looseness*. Definisi *Mechanical looseness* secara umum yakni terjadinya kerenggangan pada suatu mesin karena adanya kerenggangan baut, kerenggangan *bearing*, keretakan di pondasi, kerenggangan antara rotor dengan poros dan sebagainya. Sama halnya dengan *unbalance*, *mechanical looseness* juga terdiri dari beberapa macam. Terdapat 3 tipe *mechanical looseness* yang diketahui. Tipe A terjadi disebabkan oleh *structural looseness* dari

pondasi atau *baseplate* dengan diketahui dari dominan frekuensi nya yang muncul pada  $1x$  RPM. Tipe B yang disebabkan oleh longgarnya *pillow block/ring/cincin* baut, struktur rangka yang retak dengan munculnya dominan frekuensi yang diawali dari  $0,5x$ ,  $1x$ ,  $2x$ ,  $3x$ , dst. Tipe C yang terakhir, terjadi karena ketidak tepatan kesesuaian antar komponen yang akan menyebabkan banyak harmonik akibat dari respon *nonlinier* bagian yang longgar terhadap gaya dinamis dari motor yang ditandai dengan kemunculan dominan frekuensi pada  $0,5x$ ,  $1x$ ,  $1,5x$ ,  $2x$ ,  $2,5x$ ,  $3x$ ,  $4x$ , dst.

Ketiga, yakni *failure mode bearing defect* yang terdiri dari beberapa komponen yaitu, *cage*, *ball*, *inner ring*, *outer ring*. Dengan menghitung rumus yang telah dipelajari, bagian komponen mana yang mengalami kerusakan pun dapat diketahui. Berikut akan dijelaskan bagian-bagian bantalan pada gambar 2.14 serta rumus mencari frekuensi rusaknya.



Gambar 2.14 Bagian-bagian *bearing* (Sukendi dkk, 2015)

Bagian-bagian bantalan:

- Ring Luar
- Ring Dalam
- Bola
- Sangkar

Ket:

- $D_0$  = Diameter luar
- $D_1$  = Diameter dalam (mm)
- $P_d$  = Diameter pitch (mm)
- $B_d$  = Diameter bola (mm)
- $N_b$  = Jumlah bola
- $Fr$  = Frekuensi (Hz)

a. Cacat Lokal pada Lintasan Dalam (*Inner Ring*)

Bila terjadi cacat/rusak pada lintasan dalam bantalan maka hal itu disebut *Ball Pass Frequency Inner* (BPFI), yang dinyatakan dengan Pers. 2.1. Rumus hitungan frekuensi rusak masing-masing *bearing* ini didapatkan dari sumber Graney & Starry (2012).

$$BPFI = \frac{N_b}{2} fr \left( 1 + \frac{B_d}{P_d} \cos \alpha \right) \quad (2.1)$$

b. Cacat Lokal pada Lintasan Luar (*Outer Ring*)

Bila terjadi cacat/rusak pada lintasan luar bantalan maka hal itu disebut *Ball Pass Frequency Outer* (BPFO), yang dinyatakan dengan Pers. 2.2

$$BPFO = \frac{N_b}{2} fr \left( 1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \alpha \right) \quad (2.2)$$

c. Cacat Lokal pada Bola (*Ball*)

Bila terjadi cacat/rusak pada bola bantalan maka hal itu disebut *Ball Spin Frequency* (BSF). Besarnya dapat dihitung dengan Pers. 2.3

$$BSF = \frac{P_d}{2 B_d} fr \left( 1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \alpha \right)^2 \quad (2.3)$$

d. Cacat Lokal pada Sangkar (*Cage*)

Bila terjadi cacat/rusak pada sangkar bantalan maka hal itu disebut *Fundamental Train Frequency* (FTF). Besarnya FT dapat dhitung dengan Pers. 2.4

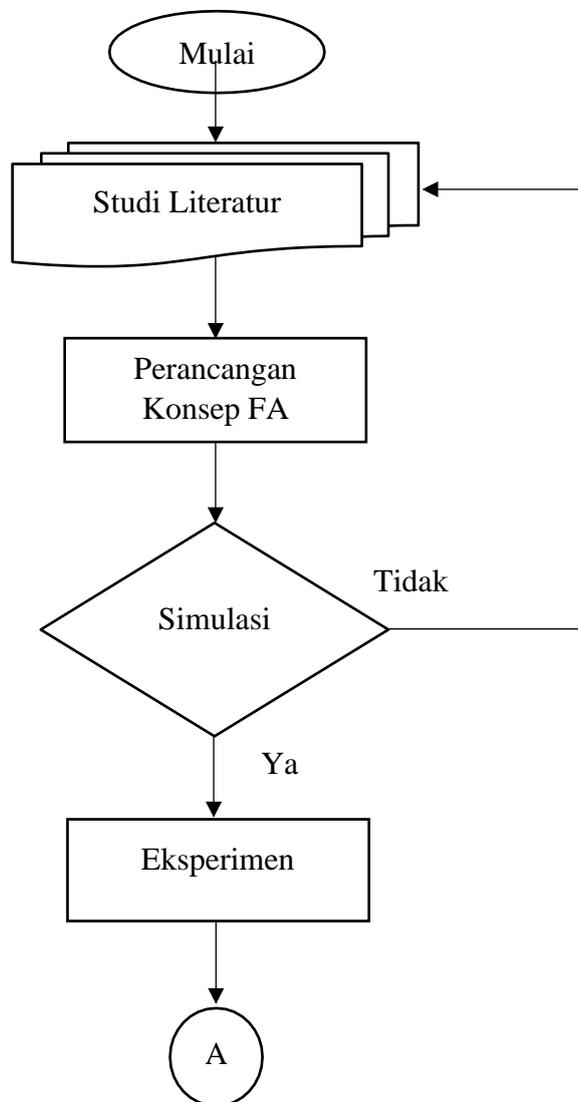
$$FTF = \frac{Fr}{2} \left( 1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \alpha \right) \quad (2.4)$$

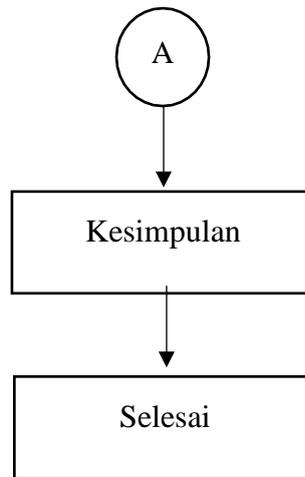
Selain itu, juga terdapat *failure mode* lain seperti *misalignment*, *bent shaft*, *eccentric rotor*, *rotor rub*, dan *journal bearing*. Pada *failure mode angular misalignment*, *peak* ditunjukkan dalam arah *axial* pada dominan frekuensi 1x dan 2x RPM serta 3x RPM, dimana 1x RPM lebih tinggi dari 2x dan 3x RPM. Sedangkan *parallel misalignment*, *peak* terlihat dalam arah *radial* dengan dominan frekuensi 2x RPM lebih tinggi daripada 1x RPM, tetapi tingginya nilai amplitudo relatif terhadap jenis kopling dan konstruksi. Pada *failure mode bent shaft*, akan menyebabkan munculnya nilai amplitudo yang tinggi pada 1x dan 2x RPM di arah *axial*. Amplitudo akan dominan pada 1x RPM di arah *axial* jika posisi bengkoknya dengan dengan posisi tengah *shaft* atau 2x RPM jika posisi bengkoknya dekat dengan kopling. Untuk *failure mode eccentric rotor* dominan frekuensi akan terlihat pada 1x RPM FAN serta 1x RPM motor yang terjadi saat titik tengah rotasi menyimpang dari garis tengah geometri puli, gigi, bantalan. *Failure mode rotor rub* menghasilkan dominan frekuensi persis dengan *mechanical looseness* saat alat berputarnya berhubungan dengan komponen berputar. *Journal bearing*, terdapat *clearance*, *oil whirl instability*, dan *oil whip instability*. *Clearance* biasanya ditunjukkan dengan harmonik kecepatan saat beroperasi dengan dominan frekuensi yang muncul pada arah *radial* vertikal lebih tinggi dibandingkan dengan *radial* horizontal, namun hal ini hanya muncul pada 1x RPM. *Oil Whirl instability*, yaitu kondisi dimana suatu mesin atau peralatan yang mengalami kekurangan pelumasan dengan ditunjukkan dominan frekuensi yang muncul pada frekuensi *sub synchronous* (0,4x – 0,6x RPM). Kemudian terdapat *oil whip instability* yang terjadi jika mesin beroperasi pada atau diatas 2x frekuensi kritikal rotor.

### BAB III

#### METODOLOGI PENELITIAN

Metode pelaksanaan yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah dengan merancang kegiatan-kegiatan dalam bentuk diagram alir, dengan tujuan agar tindakan yang dilakukan lebih terarah dan terkontrol sehingga target-target yang diharapkan dapat tercapai. Flowchart ditunjukkan pada gambar 3.1 dibawah ini:





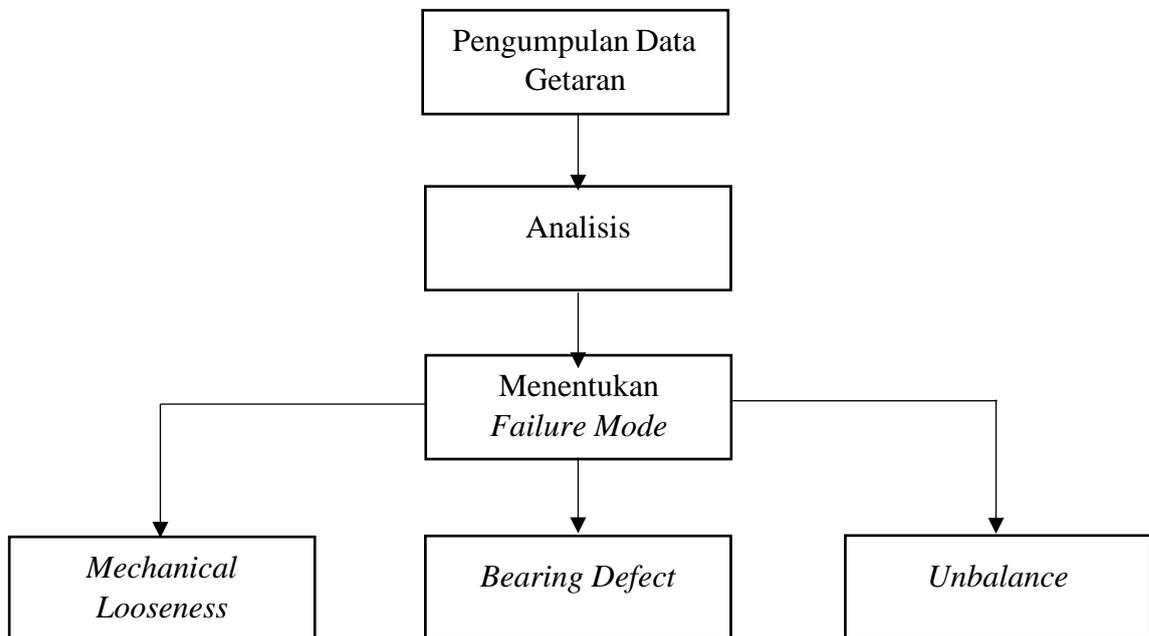
Gambar 3.1 Flowchart metode penelitian

### 3.1 Studi Literatur

Dalam tahapan ini dilakukan kajian pustaka terstruktur dan *critical review* guna mengidentifikasi batasan penelitian sekaligus mendalami teori-teori terkait yang mendukung pendalaman materi.

### 3.2 Perancangan Konsep FA

Sebelum memulai ke simulasi dan eksperimen, dilakukan tahap perancangan konsep *failure analysis* terlebih dahulu agar proses dalam mengetahui kerusakan pada mesin berputar lebih terarah dan jelas sumber informasinya. Tahapan dalam perancangan konsep FA tersebut dapat dilihat dalam bentuk flowchart pada gambar 3.2 berikut:



Gambar 3.2 Flowchart rancangan konsep FA

### 3.2.1 Pengumpulan Data Getaran

Pengumpulan data ini berfungsi untuk mengetahui kebutuhan-kebutuhan dasar dalam melakukan penelitian ini. Data yang sudah terkumpul nantinya akan dimasukkan dalam penulisan makalah sebagai landasan dalam proses pengambilan data tersebut. Metode pengumpulan data yang diterapkan antara lain metode *interview*, studi pustaka, dan *survey* lapangan.

- Metode Studi Pustaka

Untuk menunjang proses pengerjaan analisis ini dikumpulkan data dari berbagai sumber yang terkait dengan masalah-masalah yang akan dibahas. Sumber yang diambil adalah referensi buku dan jurnal.

### 3.2.2 Analisis

Analisis disini berupa penjelasan tentang parameter-parameter yang akan digunakan dalam tahap pengujian yakni :

- RPM / Hz, Frekuensi merupakan banyaknya getaran yang terjadi dalam satu satuan waktu (sekon/detik). Satuan frekuensi adalah Hz, cps, cpm dan RPM. RPM/Hz adalah set pertama parameter dalam pengujian

- Posisi, sensor getaran dipasang pada bagian-bagian mesin yang cukup kaku untuk menghindari efek resonansi lokal bagian tersebut. Pengambilan data getaran dilakukan dengan dua arah yaitu arah *axial* dan arah *radial*. Pengambilan data secara *axial* adalah menempatkan alat sensor pada arah *axial* atau searah dengan poros. Arah *radial* sendiri terbagi menjadi 2 cara, yaitu:

a. Horizontal

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

b. Vertikal

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

- Amplitudo dari sinyal getaran mengidentifikasi besarnya gangguan yang terjadi. Makin tinggi amplitudo yang ditunjukkan, menandakan makin besar gangguan yang terjadi, besarnya amplitudonya bergantung pada tipe mesin yang ada. Pada mesin yang masih bagus dan baru, tingkat getarannya biasanya bersifat relatif.

### 3.2.3 Menentukan *Failure mode*

Tahap ini merupakan tahapan menentukan kerusakan yang terjadi pada media uji menyesuaikan dengan parameter yang telah ditentukan. Kerusakan yang akan diuji dalam penelitian ini ialah :

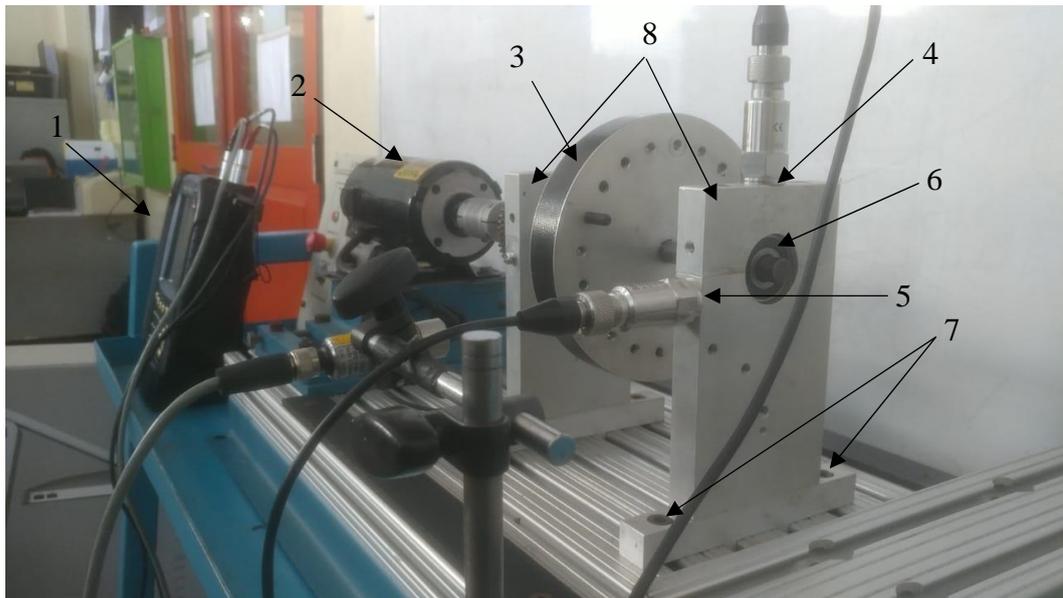
- *Mechanical looseness*
- *Bearing defect*
- *Unbalance*

### 3.3 Simulasi

Simulasi merupakan kegiatan tambahan yang dilakukan, berupaya untuk mendukung desain FA yang telah dibuat sebelumnya. Simulasi ini berupa data sekunder yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan orang lain, dalam bentuk jurnal, buku, artikel yang berhubungan dengan analisis data sinyal getaran pada 3 kerusakan yang diteliti yakni *unbalance*, *mechanical looseness*, dan *bearing defect*. Pada tahapan ini, akan mengambil data sinyal getaran yang telah dilakukan oleh Suhardjono (2015), sebagai data sekunder kerusakan *bearing defect* BPFI. Kemudian mengambil data sinyal getaran Plante dkk (2015), sebagai data sekunder kerusakan *unbalance* dan *mechanical looseness*.

Untuk membuktikan apakah desain FA yang telah dibuat bisa menentukan *failure mode* sesuai dengan studi literatur atau aturan yang ada, maka akan dilakukan pengambilan data dengan media uji yang bisa men-simulasikan kegagalan seperti *unbalance*, *bearing defect* dan *mechanical looseness*. Pada proses pengambilan data sinyal getaran menggunakan *vibroport 80*, fitur yang akan digunakan ialah fitur *FFT-Analyzer* yang akan menampilkan data sinyal getaran dalam tampilan domain frekuensi dengan rentang 1-10kHz yang memudahkan dalam pengujian untuk mengetahui jenis kerusakan yang terjadi. Tabel spesifikasi alat uji ditunjukkan pada tabel 3.1. Untuk desain eksperimen yang ditunjukkan pada gambar 3.3 dapat dijelaskan bahwa:

1. *Vibroport 80* (alat uji getaran)
2. Motor
3. *Wheel* (sebagai *failure mode unbalance* dengan dipasangkan beban pada salah satu lubangnya)
4. Sensor pada posisi *radial* vertikal
5. Sensor pada posisi *radial* horizontal
6. *Bearing* (sebagai *failure mode bearing defect*)
7. Baut kaki rumah bantalan (sebagai *failure mode mechanical looseness*)
8. Rumah bantalan



Gambar 3.3 Desain Eksperimen

### 3.4 Eksperimen

Untuk membuktikan apakah desain FA yang telah dibuat bisa menentukan *failure mode* sesuai dengan studi literatur atau aturan yang ada, maka akan dilakukan pengambilan data dengan media uji yang bisa men-simulasikan kegagalan seperti *unbalance*, *bearing defect* dan *mechanical looseness*. Media uji latihan ini berada di bengkel Polman Babel yang merupakan media pembelajaran yang digunakan mahasiswa saat praktikum. Pada proses pengambilan data sinyal getaran menggunakan *vibroport 80*, fitur yang akan digunakan ialah fitur *FFT-Analyzer* yang akan menampilkan data sinyal getaran dalam tampilan domain frekuensi dengan rentang 1-10kHz yang memudahkan dalam pengujian untuk mengetahui jenis kerusakan yang terjadi. Tabel spesifikasi alat uji ditunjukkan pada lampiran 2.

### 3.5 Kesimpulan

Hal yang dapat disimpulkan dalam bab 3 ini ialah diagram alir telah dibuat untuk mempermudah dalam proses pengerjaan TA ini, dan juga lampiran tentang apa saja alat yang digunakan serta informasi tentang apa yang akan dikerjakan pada bab selanjutnya secara garis besar.

## BAB IV

### PEMBAHASAN

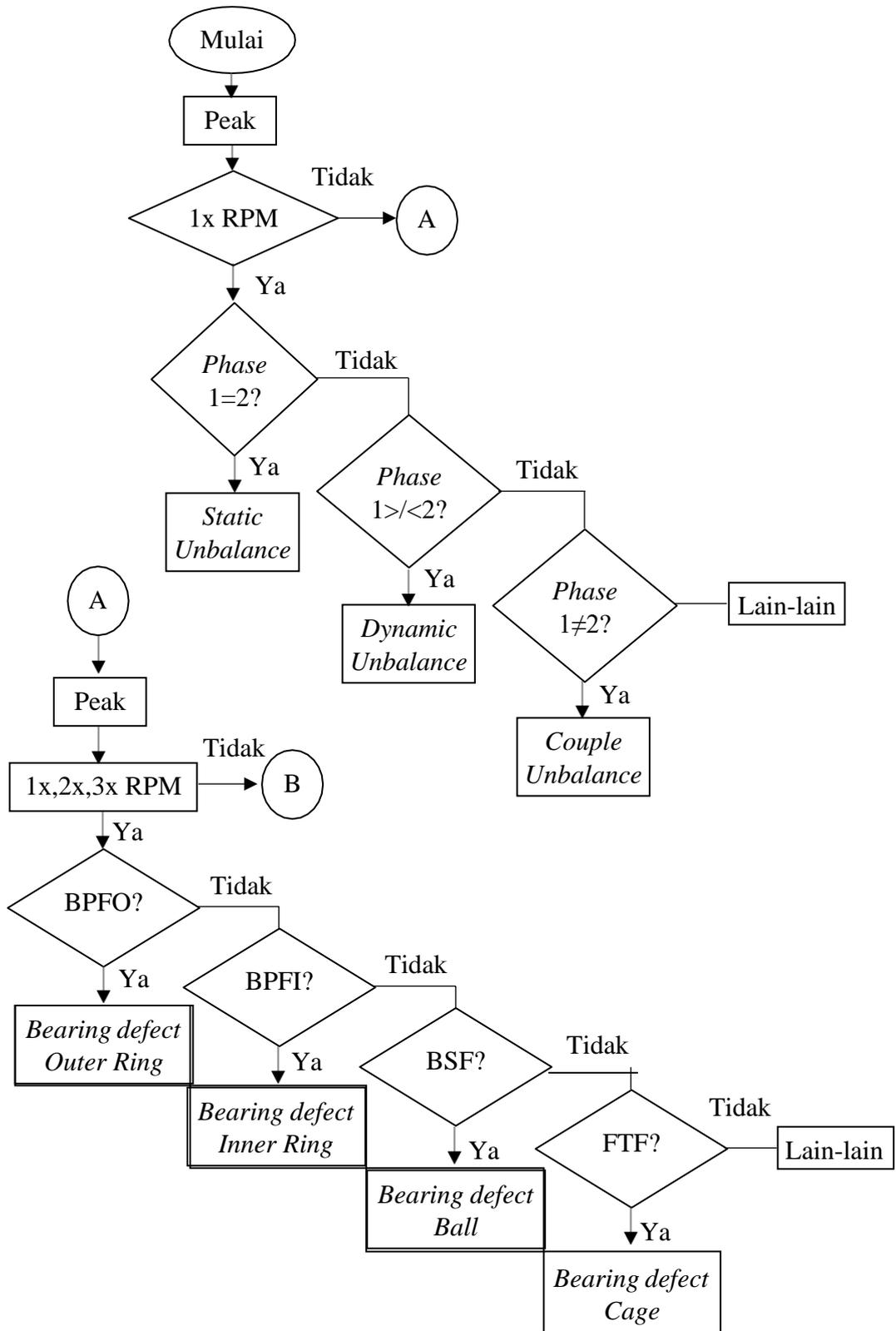
Pada bab ini akan dibahas mengenai proses, hasil dan analisis TA serta metode yang digunakan dalam penelitian tugas akhir dengan judul “Analisis Sinyal Getaran pada Mesin Beputar Menggunakan Metode *Failure Analysis*” sebagai berikut.

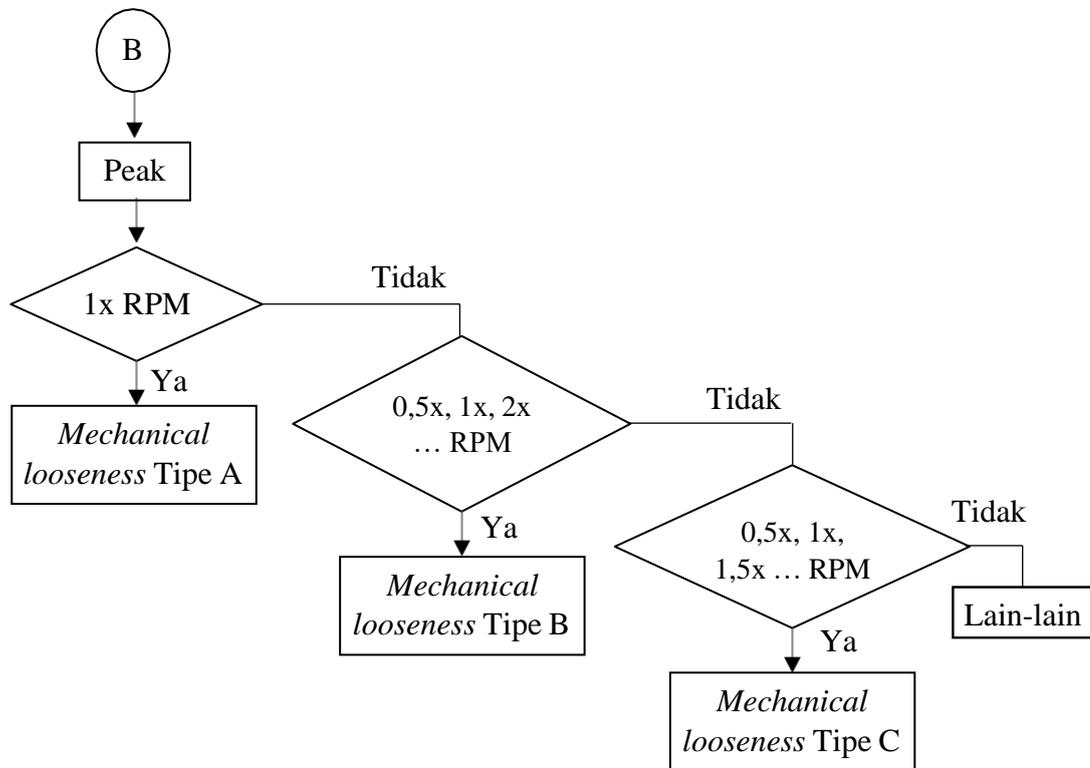
#### 4.1 Rancangan Konsep FA

Tabel 4.1 Rancangan konsep FA

No	Failure Mode	Dominan Frekuensi		
		Radial Axis	Phase 1	Phase 2
1	<i>Unbalance:</i>			
	Static	1x RPM	90°	90°
	Dynamic	1x RPM	90°	180°
	Couple	1x RPM	90°	-180°
2	<i>Bearing defect:</i>	1x, 2x, 3x frekuensi		
	<i>Cage</i>	1x / 2x / 3x frek. FTF		
	<i>Ball</i>	1x / 2x / 3x frek. BSF		
	<i>Inner</i>	1x / 2x / 3x frek. BPF1	-	-
	<i>Outer</i>	1x / 2x / 3x frek. BPFO		
3	<i>Mechanical Looseness:</i>			
	Tipe A	1x RPM		
	Tipe B	0,5x, 1x, 2x,..RPM	-	-
	Tipe C	0,5x, 1x, 1,5x, 2x, 2,5x, 3x,...10x RPM		

Rancangan konsep FA ini dibuat sendiri berdasarkan dari sumber literatur yang telah dipelajari seperti yang ditunjukkan pada lampiran 2. Kemudian dari data tabel diatas dibuat kedalam bentuk *decision tree* untuk memperjelas cara kerja dalam menentukan kerusakan yang dialami dalam bentuk dominan frekuensi, ilustrasi gambar dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut.





Gambar 4.1 *Decision Tree* dominan frekuensi FA

Cara kerja *decision tree* ini ialah pertama, sinyal getaran dengan fitur FFT yang telah diperoleh dari proses pengambilan data akan diubah kedalam bentuk grafik yang menunjukkan dominan frekuensi pada masing-masing kerusakan yang dialami. Posisi sensor akselerometer saat pengambilan data ada 2 yaitu, posisi *radial* horizontal dan *radial* vertikal. Kemudian, jika diketahui dominan frekuensi yang muncul hanya berupa 1x putaran RPM maka dikatakan bahwa mesin tersebut mengalami kerusakan *unbalance*, lalu akan ditentukan lagi tipe *unbalance* yang dialami dengan melihat nilai *phase* yang muncul. Jika nilai *phase* 1 sama dengan *phase* 2 maka ditentukan bahwa *unbalance* yang dialami adalah tipe *static*. Jika tidak, nilai *phase* 1 lebih besar atau lebih kecil dari *phase* 2 maka ditentukan bahwa *unbalance* yang dialami ialah tipe *dynamic*. Jika tidak, nilai *phase* 1 tidak sama dengan *phase* 2 maka dikatakan *couple unbalance*.

Jika yang diketahui dominan frekuensi yang muncul berupa 1x, 2x dan 3x secara berlanjut, atau 1x atau 2x atau 3x dalam nilai frekuensi yang mendekati

hitungan kerusakan 4 bagian bantalan, maka dapat dikatakan bahwa mesin mengalami kerusakan *bearing defect*. Pada *bearing defect* tidak menghasilkan frekuensi pada kelipatan putaran mesin seperti kerusakan dasar lainnya, nilai frekuensi yang akan dipantau dulu disini ialah nilai frekuensi yang telah dihitung menggunakan rumus masing-masing dari komponen bantalan dengan spesifikasi ukuran tertentu.

Terakhir, jika dominan frekuensi yang muncul berupa pada putaran 1x RPM dengan perbedaan *phase* 90° – 180° pada pengukuran vertikal pada baut, plat dasar atau landasan itu sendiri merupakan ciri *mechanical looseness* tipe A. Jika tidak, dominan frekuensi yang muncul berupa 0,5x, 1x, 2x,... 10x RPM maka itu merupakan *mechanical looseness* tipe B. Jika tidak, dominan frekuensi yang muncul berupa 0,5x, 1x, 1,5x, 2x,... 10x RPM maka itu merupakan *mechanical looseness* tipe C.

## 4.2 Simulasi

Dengan mengambil hasil penelitian Suhardjono (2005), dapat diketahui bahwa penelitian yang ia lakukan tentang “Analisis Sinyal Getaran untuk Menentukan Jenis dan Tingkat Kerusakan Bantalan Bola (*Ball Bearing*)” dalam putaran 2950 RPM (50 Hz) menggunakan bantalan bola Merk ABS no. 6203, dengan dimensi diameter *pitch* (Pd) 28.5mm, diameter luar (D<sub>o</sub>) 40mm, diameter dalam (D<sub>i</sub>) 17mm, jumlah bola (Nb) 8, diameter bola (Bd) 6mm, sudut kontak (α) 0° menghasilkan *peak* yang muncul pada frekuensi BPF1. Ilustrasi grafik ditunjukkan pada gambar 4.2 berikut.

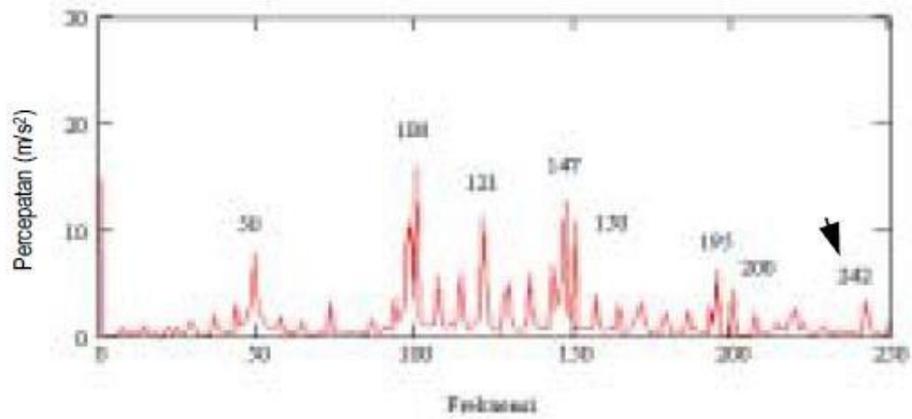
$$\begin{aligned}
 \text{BPF1} &= \frac{Nb}{2} \text{fr} \left( 1 + \frac{Bd}{Pd} \cos \alpha \right) \\
 &= \frac{8}{2} \left( 1 + \frac{6}{28,5} \cos 0^\circ \right) \\
 &= 4 (1,21) \times \text{fr} \\
 &= 4,84 \times 50 \text{ Hz} \\
 &= 242,1 \text{ Hz} \\
 \text{BPFO} &= \frac{Nb}{2} \text{fr} \left( 1 - \frac{Bd}{Pd} \cos \alpha \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{8}{2} \left(1 - \frac{6}{28,5} \cos 0^\circ\right) \\
&= 4 (0,79) \times \text{fr} \\
&= 3,15 \times 50 \text{ Hz} \\
&= 157,89 \text{ Hz} \\
\text{BSF} &= \frac{Pd}{2 Bd} \text{ fr} \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cos \alpha\right)^2 \\
&= \frac{28,5}{2 (6)} \left(1 - \frac{6}{28,5} \cos 0^\circ\right)^2 \\
&= 2,375 (0,79)^2 \times \text{fr} \\
&= 1,48 \times 50 \text{ Hz} \\
&= 74,11 \text{ Hz} \\
\text{FTF} &= \frac{Fr}{2} \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cos \alpha\right) \\
&= \frac{1}{2} \left(1 - \frac{6}{28,5} \cos 0^\circ\right) \\
&= 0,5 (0,79) \times \text{fr} \\
&= 0,39 \times 50 \text{ Hz} \\
&= 19,73 \text{ Hz}
\end{aligned}$$

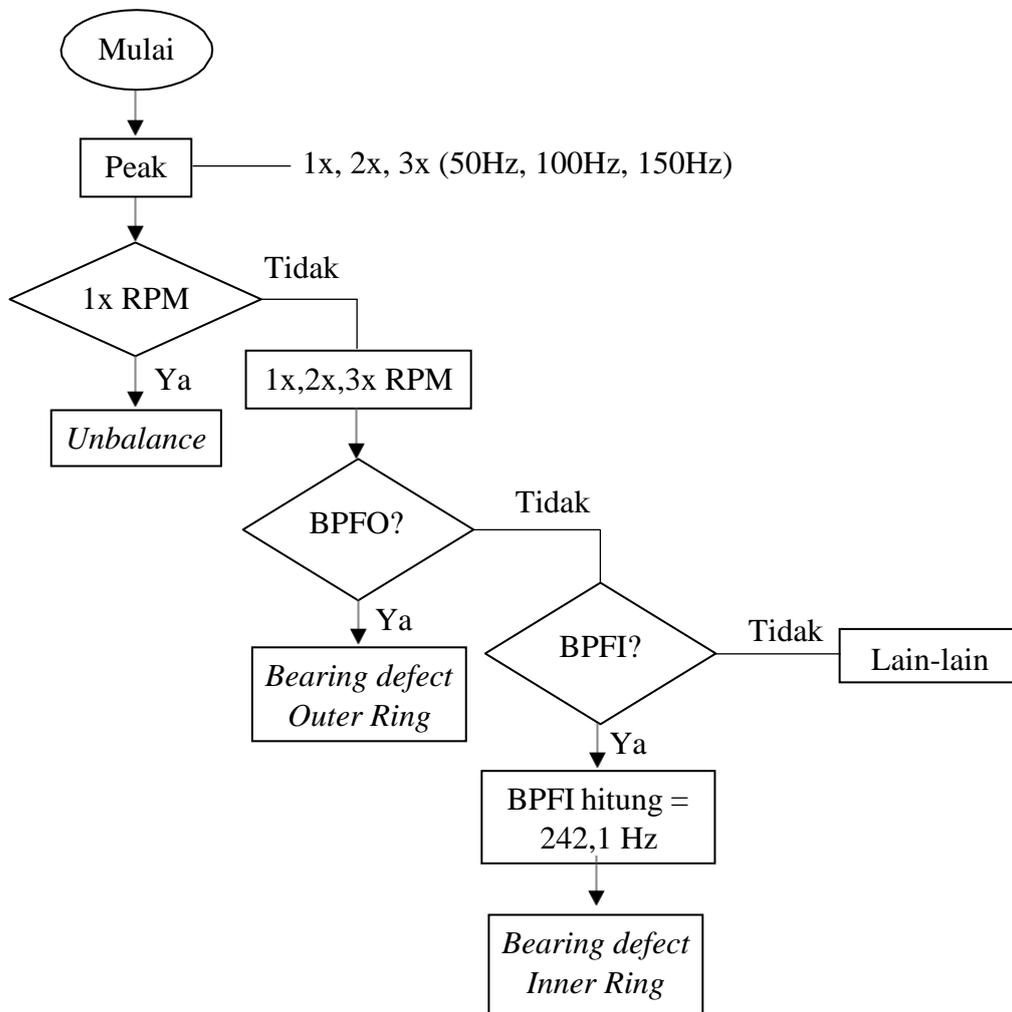
Tabel 4.2 Frekuensi rusak *ball bearing* tipe ABS no. 6203

<b>Tipe Frekuensi <i>Bearing</i></b>	<b>Frekuensi (Hz)</b>
Inner race defect frequency (BPFI)	242,1
Outer race defect frequency (BPFO)	157,89
Fundamental Train Frequency (FTF)	19,73
Ball Spin Frequency (BSF)	74,11

Catatan: 1 Hz = 60 RPM



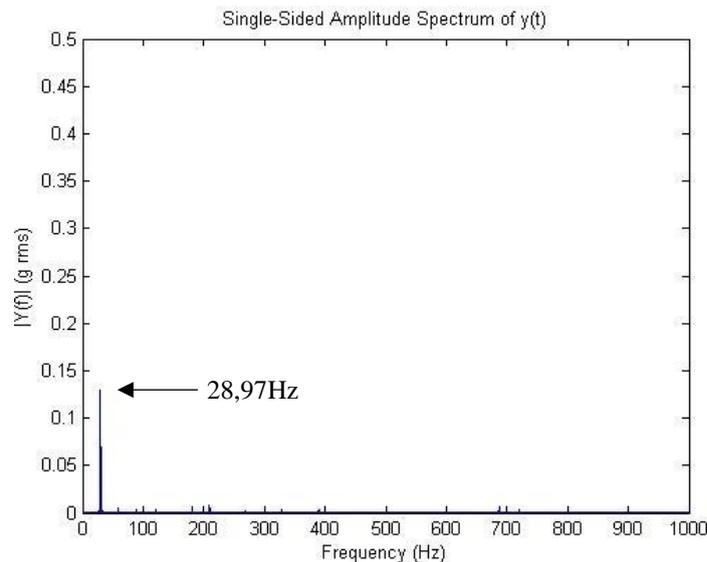
Gambar 4.2 *Bearing defect BPFi* Suhardjono (2005)



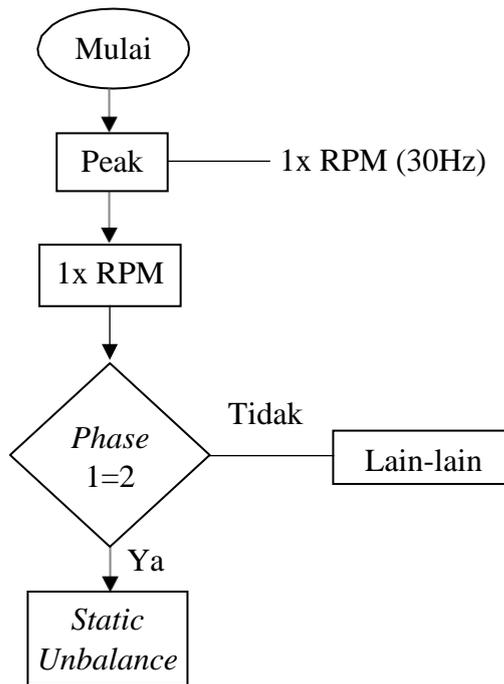
Gambar 4.3 *Decision Tree failure mode bearing defect* Suhardjono (2015)

Pada gambar 4.3 dapat ditunjukkan bahwa *peak* yang muncul berupa 1x BPFI yang mendekati nilai 5x RPM mesin, dengan hasil nilai pengujian BPFI-nya yaitu 240,3 Hz. Hasil tersebut mendekati nilai frekuensi hitungan rumus yakni 242,1 Hz, sehingga dapat disimpulkan bahwa *peak* tersebut dapat diindikasikan sebagai validasi *failure mode bearing defect* BPFI.

Selanjutnya penelitian yang telah dilakukan oleh Plante dkk (2015), menunjukkan hasil sinyal getaran amplitudo tinggi pada frekuensi 1x RPM dalam kondisi *unbalance* dengan nilai *phase* 1 sama dengan *phase* 2. Putaran RPM yang digunakan ialah 1725 (30 Hz), Ilustrasi grafik ditunjukkan pada gambar 4.4 dan gambar *decision tree* nya pada gambar 4.5 berikut.

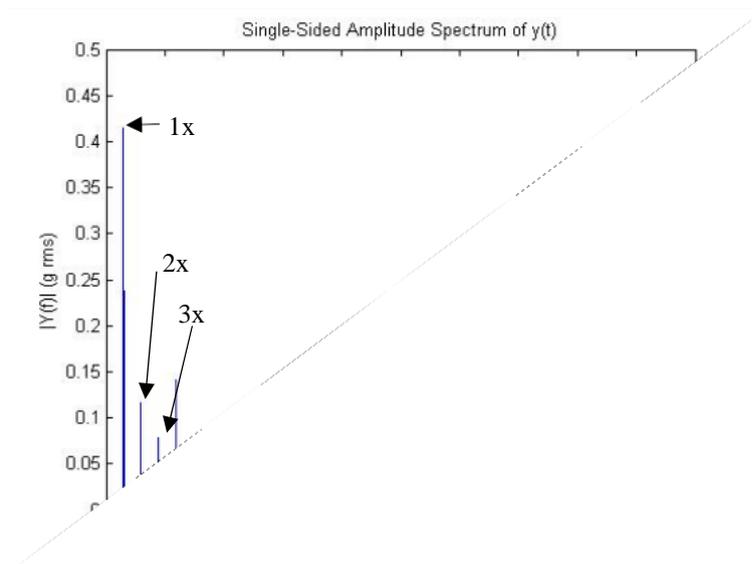


Gambar 4.4 FFT *Unbalance* Plante dkk (2015)

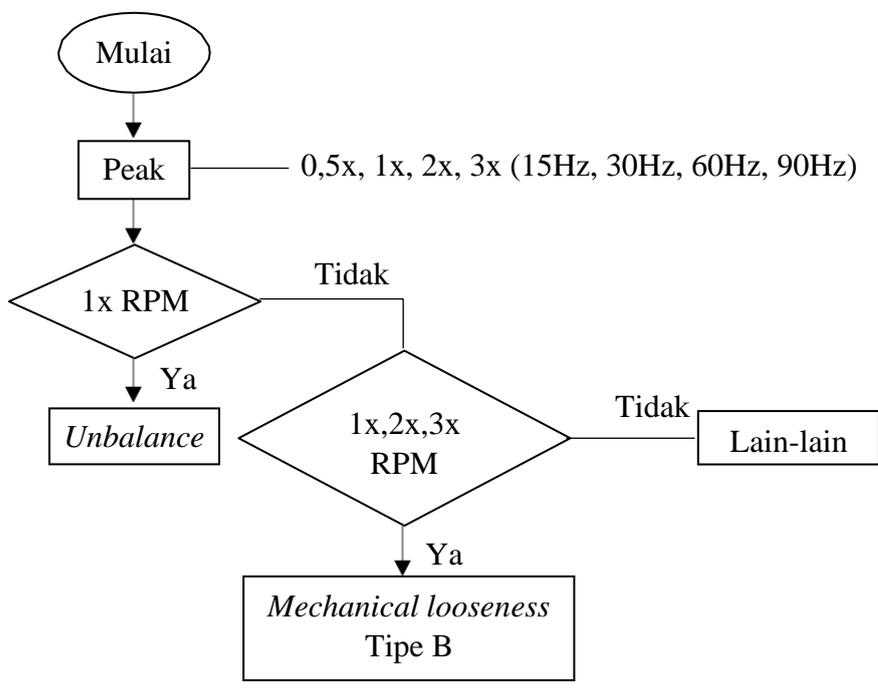


Gambar 4.5 *Decision Tree failure mode unbalance* Plante dkk (2015)

Plante dkk (2015) juga telah melakukan penelitian pada kondisi *mechanical looseness* dalam putaran RPM yang sama yakni 1725 (30 Hz). Hasil penelitian ditunjukkan pada gambar 4.6 berikut, *peak* yang paling tinggi pada sinyal getaran amplitudo di grafik berada pada frekuensi kelipatan kecepatan 1x, 2x, dan 3x RPM.



Gambar 4.6 *FFT Mechanical looseness* Plante dkk (2015)



Gambar 4.7 Decision Tree failure mode mechanical looseness Plante dkk (2015)

Tabel 4.3 Hasil penelitian data sekunder

Data Eksperimen dari	RPM (Hz)	Peak/Dominan FFT (RPM)	Phase		Failure Mode
			1	2	
Suhardjono (2005)	240,03	1x BPFI 240.3 Hz	-	-	Bearing defect BPFI
Plante dkk (2015)	28,97	1x RPM	90°	90°	Static Unbalance
Plante dkk (2015)	30, 60, 90	1x, 2x, 3x RPM	-	-	Mechanical looseness Tipe B

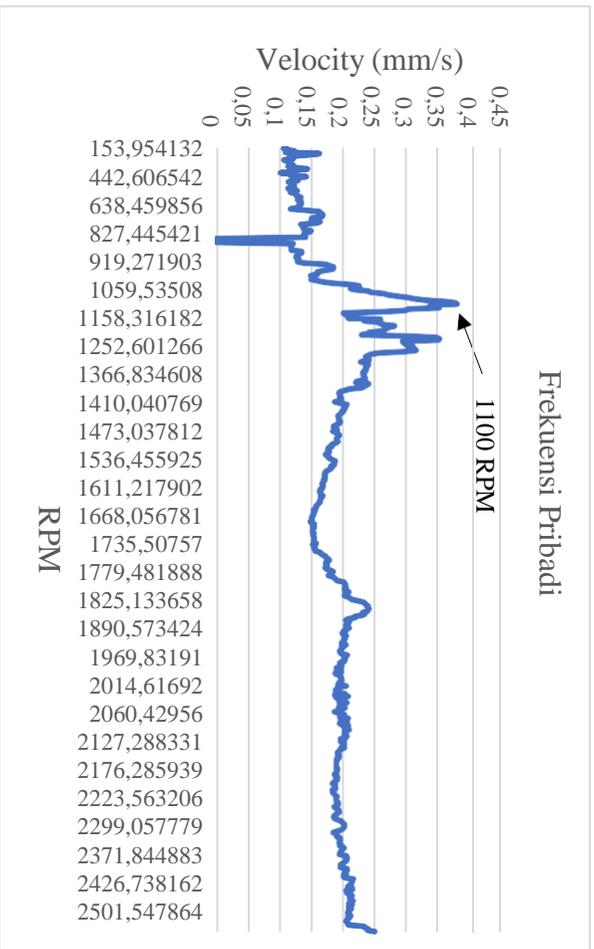
Tabel 4.4 Kesimpulan data hasil simulasi

Data Penelitian	Failure Mode		Hasil
	Penelitian	Simulasi FA	
Suhardjono (2005)	BPFI dan BSF	BPFI	Valid
Plante dkk (2015)	<i>Unbalance</i>	<i>Unbalance</i>	Valid
Plante dkk (2015)	<i>Mechanical looseness</i>	<i>Mechanical looseness</i>	Valid

Dapat disimpulkan dari hasil analisis sinyal getaran yang dilakukan dua peneliti diatas, masing-masing dari kerusakan yang telah diuji memperlihatkan hasil dominan frekuensi yang hampir mendekati dengan rancangan konsep FA yang telah dibuat. Dengan kerusakan *bearing defect* yang menunjukkan dominan frekuensi mendekati 1x BPFI pada kelipatan 3x RPM-nya. Kemudian, kerusakan *unbalance* yang menunjukkan hasil dominan frekuensi pada 1x putaran RPM, serta *mechanical looseness* yang menunjukkan dominan frekuensi pada kelipatan putaran 1x, 2x, 3x RPM. Maka dengan ini, dapat dikatakan bahwa rancangan konsep FA yang telah dibuat telah terbukti validasi-nya berdasarkan tiga data sekunder diatas.

### 4.3 Eksperimen

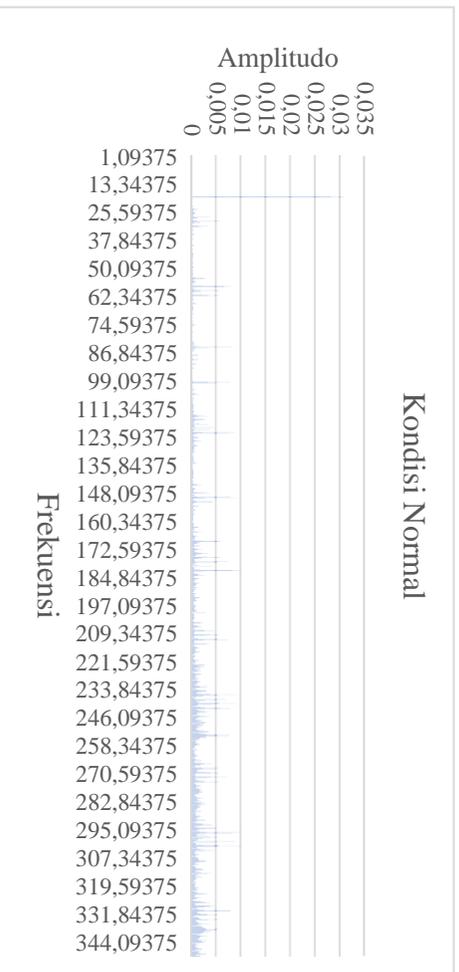
Untuk mengetahui frekuensi pribadi mesin, dilakukan pencuplikan sinyal getaran pada saat mesin dalam kondisi baik. Hal ini sangat penting dilakukan untuk mendapatkan data yang akurat. Dilakukan proses pengambilan data dengan fitur *overall* dengan frekuensi *high-pass* 10 Hz dan *low-pass* 1000 Hz. Hasil pengukuran ditunjukkan pada gambar 4.8, diketahui bahwa frekuensi pribadi motor tersebut berada pada putaran 1100 rpm (18,33 Hz) dengan nilai *velocity*-nya 0,38 mm/s rms. Sehingga penulis memutuskan untuk menggunakan putaran diatas 1100 RPM, yakni 1800 RPM (30 Hz).



Gambar 4.8 Frekuensi Pribadi

### 4.3.1 Kondisi Normal

Dilakukan pengambilan sinyal getaran dalam domain frekuensi dengan batas rentang frekuensi 1-350 Hz saat mesin dalam kondisi baik dengan semua baut dikencangkan serta *wheel* tanpa beban dalam fitur FFT. Hasil dari data tersebut ditunjukkan pada gambar 4.9 berikut.



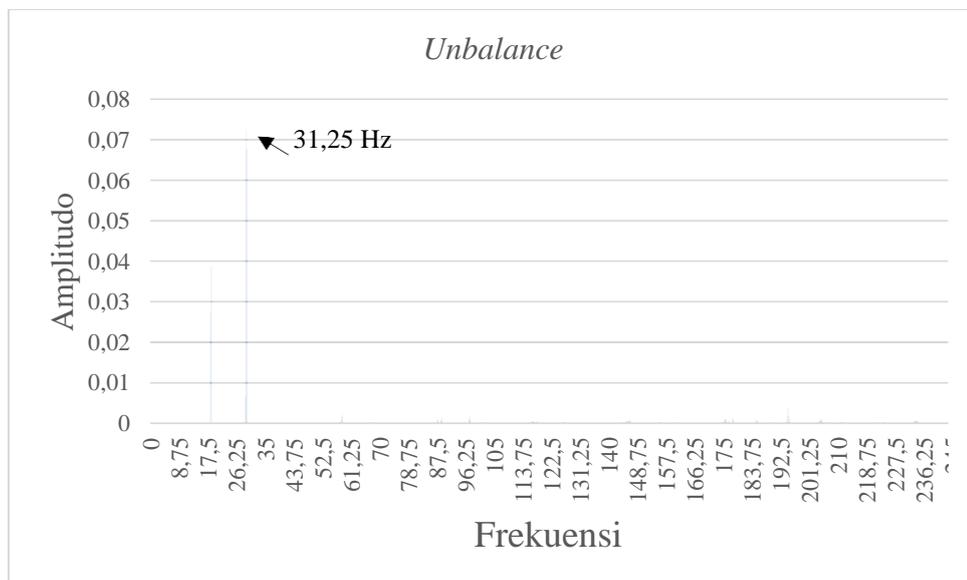
Gambar 4.9 Kondisi normal mesin

Pada gambar 4.9 menunjukkan sinyal getaran dalam domain frekuensi pada mesin dalam kondisi normal. Data ini diambil dengan pengukuran sinyal getaran

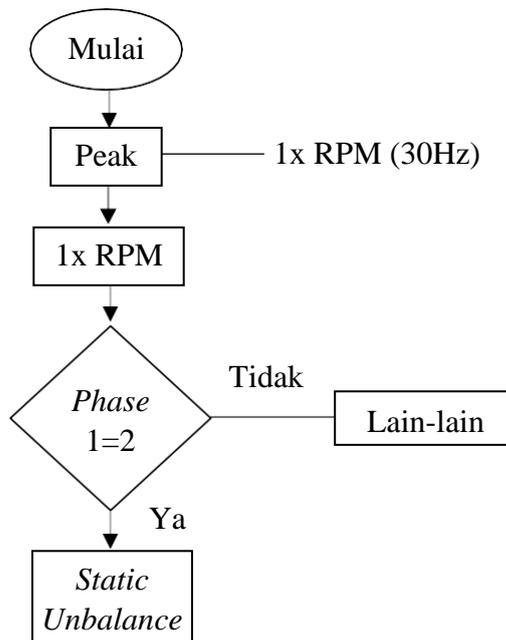
dalam fitur FFT pada *radial axis* dan tidak dalam skala atau perubahan dari hasil aslinya. Penting untuk diketahui bahwa hasil besaran amplitude diketahui dalam satuan *g rms*. Pada grafik menunjukkan *peak* paling tinggi pada frekuensi 19,1 Hz dimana hal itu disebabkan oleh frekuensi pribadi motor (18,33 Hz).

#### 4.3.2 Kondisi *Unbalance*

Untuk mengetahui kondisi motor yang mengalami *unbalance*, sebuah baut besi di pasang pada *wheel* yang terletak pada poros motor. Menurut penelitian sebelumnya (Plante dkk, 2015), diketahui bahwa kondisi poros motor yang tidak seimbang akan menampilkan titik puncak amplitudo yang tinggi pada satu kali putaran rpm. Dengan beroperasi pada putaran 1800 RPM (30 Hz), data sinyal getaran dalam domain frekuensi menggunakan alat *vibroport 80* diambil pada arah *radial axis*. Data dari pengujian ditunjukkan pada gambar 4.10 beserta *decision tree*-nya pada gambar 4.11.



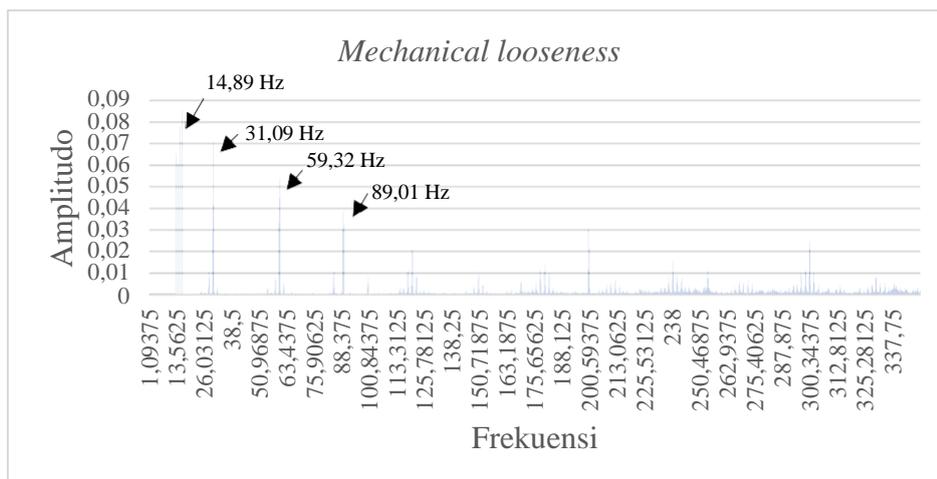
Gambar 4.10 Sinyal getaran pada domain frekuensi yang muncul akibat *unbalance*



Gambar 4.11 *Decision Tree failure mode unbalance* eksperimen

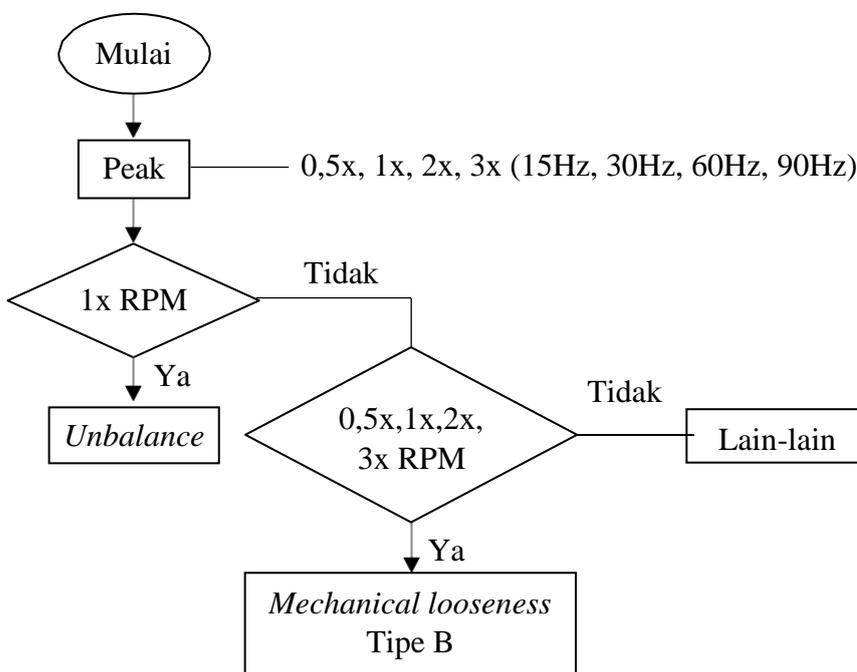
Dari gambar 4.10 diatas, dapat dijelaskan bahwa peak yang muncul pada frekuensi 31,25 Hz dengan nilai amplitudonya yaitu 0,071 g rms merupakan peak yang mendekati nilai 1x RPM.

### 4.3.3 Kondisi *Mechanical looseness*



Gambar 4.12 Sinyal getaran pada domain frekuensi yang muncul akibat *mechanical looseness*

Pola getaran yang dihasilkan dari kondisi motor yang mengalami *mechanical looseness* juga diteliti. Dengan cara mengendorkan kedua baut yang terpasang pada kaki rumah bantalan sehingga menghasilkan getaran serta *noise* saat mesin dihidupkan. *Peak* pada kerusakan *mechanical looseness* dinyatakan akan terlihat pada beberapa kali kelipatan putaran RPM menurut penelitian sebelumnya (Plante dkk, 2015).



Gambar 4.13 *Decision Tree failure mode mechanical looseness* eksperimen

Beberapa *peak* yang muncul pada rentang frekuensi pada gambar 4.12 diatas merupakan frekuensi nilai lipatan putaran RPM. *Peak* yang paling tinggi menunjukkan nilai amplitude sebesar 0,079 *g rms* pada frekuensi 14,89 Hz yang merupakan putaran 0,5x RPM, yang kemudian diikuti *peak* selanjutnya yakni pada frekuensi 1x, 2x, 3x RPM.

#### 4.3.4 **Kondisi Bearing Defect**

Kerusakan *bearing* dianggap yang paling umum terjadi pada mesin berputar. Menurut jurnal “*Rolling Element Bearing Analysis*” oleh Brian Graney

dan Ken Starry (2012), frekuensi rusak *bearing* dapat dihitung sesuai dengan rumus persamaan (2.1) hingga (2.4). Berikut akan ditunjukkan pada tabel 4.5 hasil hitungan kerusakan pada *bearing*.

Dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.1 sampai 2.4, frekuensi bantalan *single row ball bearing* tipe SKF 1621 rs pun dihitung sebagai berikut.

$$\text{BPFI} = \frac{Nb}{2} \text{fr} \left(1 + \frac{Bd}{Pd} \cos \alpha\right)$$

$$= \frac{8}{2} \left(1 + \frac{5}{25} \cos 0^\circ\right)$$

$$= 4 (1,2) \times \text{fr}$$

$$= 4,8 \times 30 \text{ Hz}$$

$$= 144 \text{ Hz}$$

$$\text{BPFO} = \frac{Nb}{2} \text{fr} \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cos \alpha\right)$$

$$= \frac{8}{2} \left(1 - \frac{5}{25} \cos 0^\circ\right)$$

$$= 4 (0,8) \times \text{fr}$$

$$= 3,2 \times 30 \text{ Hz}$$

$$= 96 \text{ Hz}$$

$$\text{BSF} = \frac{Pd}{2Bd} \text{fr} \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cos \alpha\right)^2$$

$$= \frac{25}{2(5)} \left(1 - \frac{5}{25} \cos 0^\circ\right)^2$$

$$= 2,5 (0,8)^2 \times \text{fr}$$

$$= 1,6 \times 30 \text{ Hz}$$

$$= 48 \text{ Hz}$$

$$\text{FTF} = \frac{Fr}{2} \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cos \alpha\right)$$

$$= \frac{1}{2} \left(1 - \frac{5}{25} \cos 0^\circ\right)$$

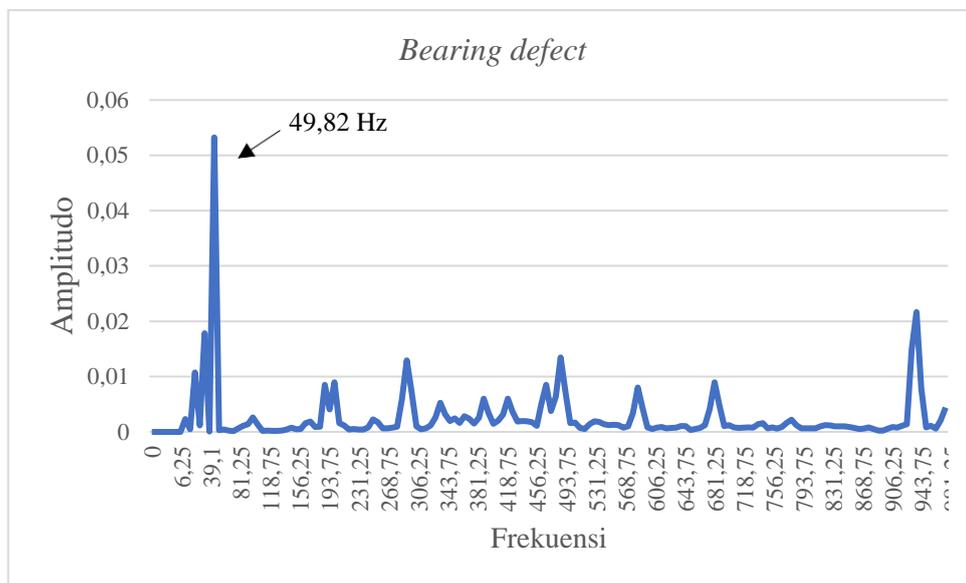
$$= 0,5 (0,8) \times \text{fr}$$

$$= 0,4 \times 30 \text{ Hz}$$

$$= 12 \text{ Hz}$$

Tabel 4.5 Frekuensi rusak *single row ball bearing* tipe SKF 1621 rs

Tipe Frekuensi <i>Bearing</i>	Frekuensi (Hz)
Inner race defect frequency (BPFI)	144
Outer race defect frequency (BPFO)	96
Fundamental Train Frequency (FTF)	12
Ball Spin Frequency (BSF)	48



Gambar 4.14 Sinyal getaran pada domain frekuensi yang muncul akibat *bearing defect* (frekuensi 1-1kHz)

Pada gambar 4.14 memperlihatkan data getaran yang diambil dari mesin yang sedang beroperasi dengan menggunakan bearing yang rusak dalam rentang frekuensi 1-1kHz. Sama seperti pengujian kerusakan sebelumnya, data getaran ini diambil menggunakan sensor akselerometer dalam posisi *radial* axis pada rumah bantalan. Terdapat satu *peak* yang termasuk dalam frekuensi bantalan menurut tabel hitungan yakni 49,82 Hz yaitu 1x BSF. Berdasarkan hasil data diatas, dapat dilihat bahwa masing-masing hasil uji eksperimen menunjukkan modus kegagalan dalam bentuk spektrum frekuensi yang sesuai dengan data sekunder simulasi dan dapat

memvalidasi rancangan FA yang telah dibuat. Untuk mempermudah dalam membaca hasilnya, dapat dilihat dalam bentuk tabel pada tabel 4.6.

Tabel 4.5 Hasil penelitian dari data primer

<b>No</b>	<b><i>Failure Mode</i></b>	<b>Dominan Frekuensi</b>		
		<i>Radial Axis</i>	<i>Phase 1</i>	<i>Phase 2</i>
<b>1</b>	<i>Unbalance: Static</i>	1x RPM	90°	90°
<b>2</b>	<i>Bearing defect: Cage Ball Inner Outer</i>	1x frekuensi  1x BSF 49,82 Hz	-	-
<b>3</b>	<i>Mechanical Looseness: Tipe B</i>	0,5x, 1x, 2x, 3x RPM	-	-

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa terhadap sinyal getaran Tugas Akhir dengan judul “Analisis Sinyal Getaran Pada Mesin Berputar Menggunakan Metode *Failure Analysis*” ini, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

- Desain konsep FA dapat menentukan kerusakan *unbalance* dengan ciri *peak* amplitudo pada 1x RPM
- Desain konsep FA dapat menentukan kerusakan *mechanical looseness* dengan ciri *peak* amplitudo pada 0,5x, 1x, 2x, 3x RPM
- Desain konsep FA dapat menentukan kerusakan *bearing defect* dengan ciri *peak* amplitudo pada 1x BPF (data simulasi) dan 1x BSF (data eksperimen).

#### 5.2 Saran

Adapun saran-saran penting yang perlu diperhatikan pada penelitian selanjutnya adalah:

1. Sebaiknya menambahkan *failure mode* yang akan diteliti sehingga dapat membuktikan bahwa metode *failure analysis* dapat digunakan tidak hanya pada kerusakan *unbalance*, *mechanical looseness*, dan *bearing defect*.
2. Sebaiknya mencoba penelitian menggunakan metode *failure analysis* selain berbasis sinyal getaran untuk menganalisis kerusakan pada mesin berputar.
3. Sebaiknya mencoba membandingkan hasil sinyal getaran dengan menggunakan tipe bantalan berbeda-beda untuk *failure mode bearing defect*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arisandi, D., & Senoaji, A. (2014), Studi Kasus Kegagalan pada blok rem metalik kereta api, FTMD-ITB: *Mechanical Production & Material Engineering*.
- Charlotte. P. C. (2000), *Vibration Diagnostic Handbook*. Oxford: Coxmoor Publishing Company.
- Contretas, L., & dkk. (2002), *Integrating Simulation Modeling and Equipment Condition Diagnostig for Predictive Maintenance, Proceedings of The 2002 Winter Simulation*, Vol. 8, hal 1289-1296.
- Copping, M. (2015), *Vibration analysis reporting-bearing failure stages and responses*, Reliabilityweb.com
- Dailey, K. W. (2004), *The FMEA Pocket Handbook*, USA: DW Publishing Co.
- Girdhar, P., & Scheffer, C. (2004), *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance*, Oxford: Newnes Publisher.
- Graney, B., & Starry, K. (2011), *Rolling element bearing analysis, Materials Evaluation, The American Society for Nondestructive Testing* Vol. 2, hal 78-80.
- Grega, R., Krajňák, J., Žul'ová, L., & Gabriel (2017), *Failure analysis of driveshaft of truck body caused by vibrations, Journal of Engineering Failure Analysis* Vol. 1, hal. 9-13.
- Kristanto, D. A., & Zaman, M. Q. (2014), *Vibrasi dan Jenis Kerusakan Pompa Air*, Surabaya, Seminar Tugas akhir.
- Kurniawan, Isadli, & Vanany, I. (2013), *Analisis Risiko Kerusakan Peralatan Dengan Metode Probabilistik FMEA Pada Industri Minyak dan Gas*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Seminar Tugas Akhir.
- Marvahilas, P. K., Kouloriotis, D., & Gemini, V. (2010), *Risk analysis and assesment methodologies in the work sites: On a review, classification and*

- comparative study of the scientific literature of the period 2000-2009. Journal of Loss Prevention in the Process Industries* , Vol. 24, hal 477-523.
- Miftahuddin (2019), Identifikasi kerusakan mesin berputar berdasarkan sinyal suara dengan metode *adaptive neuro fuzzy inference system*, Seminar Tugas Akhir.
- Mobley, R. Keith (2008), *Maintenance Engineering Handbook 7th Edition*, USA: McGraw Hill Professional Publisher.
- Mukesh , V. (n.d.). *Vibration monitoring system basics* . 6.
- N.N. (1989), *Machine Condition Monitoring*. Denmark : Bruel & Kjaer.
- Packard, H. (1997), *Effective Machinery Measurements using Dynamic Signal Analyzers: Application Note 243-1*. Chicago: Publisher Hewlett-Packard Co.
- Plante, T., Nejadpak, A., & Yang, C. (2015). *Faults detection and failures prediction using vibration analysis*, *IEEE Industry Applications Magazine*, Vol. 7, hal 26-34.
- Poddar, S., & Tandon, N. (2019), *Detection of particle contamination in journal bearing using acoustic emission and vibration monitoring techniques*, *Journal of Tribology International Vol. 1*, hal 3-12.
- Reimche, W., & Tandon, N. (2003), *BASICS OF VIBRATION MONITORING FOR FAULT DETECTION AND PROCESS CONTROL*. USA: Andersen Press Publisher.
- Rohman, A.Z., & Djuniadi (2015), Rancang bangun alat ukur getaran menggunakan sensor micro electro mechanical system (MEMS) akselerometer, *Jurnal Edu Elekrika* Vol. 3, hal 9-10.
- Sipaulta, R.Y., Lumenta, A., & Sompie, S. (2014), Simulasi Sistem Pengacak Sinyal Dengan Metode FFT. *E-Journal Teknik Elektro dan Komputer* Vol. 3, hal 31-34.

Smith, S.W. (1999), *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*, San Diego : *California Technical Publisher* .

Suhardjono (2005), Analisis Sinyal Getaran untuk Menentukan Jenis dan Tingkat Kerusakan Bantalan Bola (Ball Bearing), *Jurnal Teknik Mesin* Volume 7 Nomor 1, hal 20-29.

Sukendi, Isranuri, I., & Suherman. (2015), Analisa Karakteristik Getaran dan Machine Learning untuk Deteksi Dini Kerusakan Bearing, *Jurnal Widya Teknika* Vol. 23, hal 13-22 .

# LAMPIRAN

**LAMPIRAN 1**  
**DAFTAR RIWAYAT HIDUP**

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

### 1. Data Pribadi

Nama Lengkap : Ariesa Prisilia Yustin  
Tempat & tanggal lahir : Jakarta, 01 April 1998  
Alamat rumah : Jl. Rasamala  
Hp : 085366730402  
Email : [yustinariesap@gmail.com](mailto:yustinariesap@gmail.com)  
Jenis kelamin : Perempuan  
Agama : Islam



### 2. Riwayat Pendidikan

SD Negeri 4 Sempan	2004 – 2010
SMP Negeri 2 Sungailait	2010 – 2011
SMP Negeri 48 Jakarta	2011 – 2013
SMA Negeri 1 Pangkalpinang	2013 – 2016

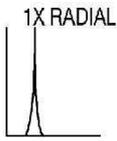
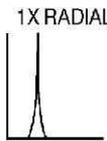
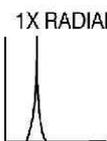
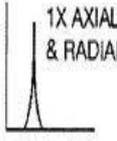
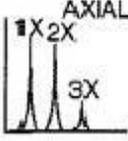
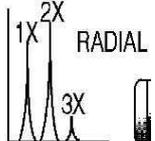
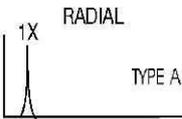
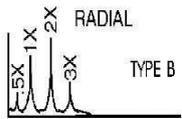
### 3. Pendidikan Non Formal

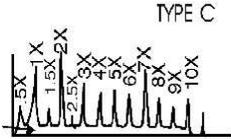
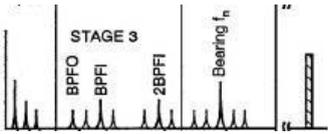
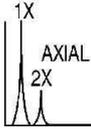
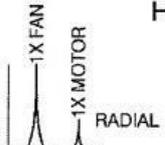
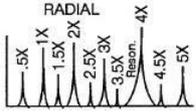
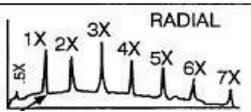
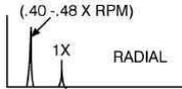
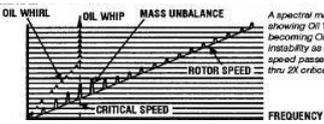
-

Sungailiat, 12 Maret 2021

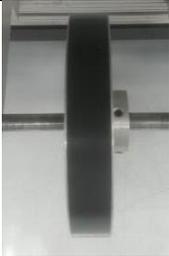
Ariesa Prisilia Yustin

**LAMPIRAN 2**  
**(TABEL DOMINAN**  
**FREKUENSI *FAILURE MODE***  
**MENURUT LITERATUR)**

<i>Failure Mode</i>	Grafik	Dominan Spektrum (RPM)
<i>Static Unbalance</i>		1x
<i>Couple Unbalance</i>		1x
<i>Dynamic Unbalance</i>		1x
<i>Overhung Unbalance</i>		1x
<i>Angular Misalignment</i>		1x, 2x dan 3x
<i>Parallel Misalignment</i>		1x, 2x dan 3x
<i>Mechanical looseness Type A</i>		1x
<i>Mechanical looseness Type B</i>		0.5x, 1.5x, 2.5x dst.

<p><i>Mechanical looseness</i> Type C</p>	 <p>TYPE C</p>	<p>0.5x, 1x, 1.5x, 2x, 2.5x, 3x dst.</p>
<p><i>Bearing defect:</i> <i>Ball Pass Freq. Inner</i> <i>Ball Pass Freq. Outer</i> <i>Ball Spin Freq.</i> <i>Fundamental Train</i> <i>Freq.</i></p>		<p>1x atau 2x atau 3x</p>
<p><i>Bent shaft</i></p>		<p>1x dan 2x</p>
<p><i>Eccentric rotor</i></p>		<p>1x FAN dan 1x Motor</p>
<p><i>Rotor rub</i></p>		<p>0.5x, 1x, 1.5x, 2x, 2.5x, 3x dst.</p>
<p><i>Journal bearings:</i> <i>Clearance</i></p>		<p>0.5x, 1x, 2x, 3x, 4x, 5x, 6x dan 7x</p>
<p><i>Journal bearings: Oil</i> <i>whirl instability</i></p>		<p>0.40 - 0.48x dan 1x</p>
<p><i>Journal bearings: Oil</i> <i>whip instability</i></p>		

**LAMPIRAN 3**  
**(TABEL SPESIFIKASI ALAT**  
**UJI YANG DIGUNAKAN)**

No	Nama Barang	Gambar	Fungsi	Jumlah
1	Motor		Digunakan sebagai penggerak poros. Tipe motor 2424P dengan Daya 90V DC. Maksimal RPM 3450.	1
2	<i>Wheel</i>		Digunakan sebagai media analisis sinyal getaran pada <i>failure mode unbalance</i> . Dengan ukuran $D_0$ 100mm, $D_1$ 10mm, dengan lubang di bagian tengah berjumlah 20 dengan ukuran 5mm, dan tebal <i>wheel</i> 20mm.	1
3	Rumah Bantalan		Digunakan sebagai tempat bantalan. Dengan ukuran Panjang 60mm, tebal 15mm, dan tinggi 110mm.	2
4	<i>Bearing</i>		Digunakan sebagai media analisis sinyal getaran pada <i>failure mode bearing defect</i> . Tipe <i>bearing</i> yang digunakan adalah <i>single row ball bearing</i> SKF 1621	2

			<p>rs dengan spesifikasi geometri yaitu diameter pitch (<math>P_d</math>) 24 mm, diameter luar (<math>D_o</math>) 32 mm, diameter dalam (<math>D_i</math>) 14 mm, diameter (<math>B_d</math>) 4,1 mm, jumlah bola (<math>N_b</math>) 9 buah, sudut kontak (<math>\alpha</math>) <math>0^\circ</math>.</p>	
5	Vibroport 80		<p>Digunakan sebagai alat pengambilan data getaran. dengan sensitivitas <math>10.18 \text{ mV/ms}^{-2}</math> atau <math>99.8 \text{ mV/g}</math> yang mempunyai berbagai macam fitur, seperti <i>Overalls</i>, <i>FFT-Analyzer</i>, <i>Balancer</i>, <i>Tracking</i>, <i>Transfer Function</i> dan <i>Time Signal</i></p>	1

