

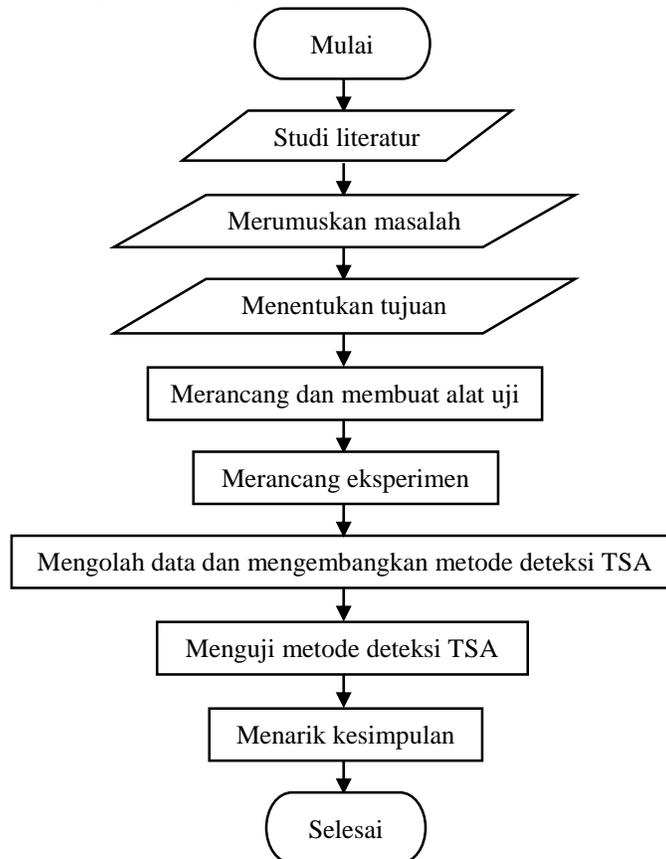
## BAB III

### METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode eksperimen, yaitu metode yang dilakukan dengan menggunakan sinyal getaran untuk mendeteksi cacat bantalan bola. Penelitian cacat bantalan pada fan dilakukan pada sebuah alat uji dengan tiga kondisi bantalan. Kondisi pertama yaitu bantalan bola normal (tanpa cacat), kondisi dua yaitu bantalan bola cacat (rusak) pada bagian lintasan dalam (*inner race*), dan kondisi ketiga yaitu bantalan cacat pada bagian lintasan luar (*outer race*).

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Secara garis besar penelitian yang dilakukan memiliki rangkaian kegiatan yang dapat dilihat pada diagram alir (gambar 3.1) berikut :



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Penjelasan dari diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada gambar 3.1 adalah sebagai berikut :

Pertama melakukan studi literatur untuk mendapatkan teori-teori yang dibutuhkan dan untuk memperkuat argumen dalam penelitian ini. Setelah teori-teori di dapatkan, kemudian menyusun rumusan masalah. Setelah beberapa rumusan masalah telah dibuat, selanjutnya yaitu menentukan tujuan dari penelitian yang dilakukan. Apabila teori-teori, rumusan masalah, dan tujuan penelitian telah benar, maka selanjutnya pembuatan alat uji dilakukan. Alat uji yang dibuat ini berupa prototipe *fan* industri. Prototipe *fan* industri ini terdiri dari motor, *pulley-belt*, *blade*, rumah bantalan, bantalan, dan rumah *blade*.

Tahap yang dilakukan setelah pembuatan alat yaitu merancang eksperimen. Eksperimen ini dilakukan pada tiga buah bantalan bola yang memiliki kondisi yang berbeda-beda. Kondisi yang pertama normal, kondisi kedua cacat pada bagian lintasan dalam, dan kondisi ketiga cacat pada bagian lintasan luarnya. Ketiga bantalan bola dengan kondisi berbeda-beda tersebut akan dilakukan pengujian pada alat uji prototipe *fan* industri sehingga menghasilkan data sinyal yang dibutuhkan. Setelah data tersebut diperoleh, hal yang dilakukan selanjutnya yaitu mengolah data tersebut dan mengembangkan metode deteksi.

Ada dua pendekatan yang dilakukan untuk pengembangan metode deteksi tersebut. Pendekatan yang pertama adalah melakukan plot domain waktu dengan menggunakan data langsung yang didapat dari sinyal akselerometer. Pendekatan yang dilakukan secara langsung ini biasanya masih terdapat banyak *noise*, sehingga identifikasi yang dilakukan untuk mendeteksi kondisi dari suatu bantalan bola menjadi lebih sulit. Pendekatan yang kedua adalah melakukan *preprocessing* sinyal menggunakan *Time Synchronous Averaging* (TSA) dengan menggunakan data langsung yang didapat dari sinyal akselerometer. Pendekatan ini akan menghasilkan plot domain waktu dengan hasil yang relatif lebih halus karena *noise* sudah tereduksi dengan metode TSA.

Dua pendekatan lain yang digunakan untuk mengembangkan metode deteksi cacat pada bantalan yaitu pertama melakukan *Fast Fourier Transform* (FFT) dari data langsung yang didapat pada sinyal akselerometer yang kemudian akan di plot kedalam domain frekuensi. Plot domain frekuensi ini masih terdapat banyak *noise* yang mengganggu saat dilakukan identifikasi cacat bantalan bola, sehingga diperlukan pendekatan lain agar *noise* dapat tereduksi. Pendekatan yang kedua yaitu melakukan *preprocessing* sinyal menggunakan TSA yang kemudian dilakukan proses FFT sehingga menghasilkan plot domain frekuensi yang lebih halus karena *noise* sudah tereduksi menggunakan TSA.

Tahap selanjutnya yang dilakukan setelah melakukan pendekatan yaitu mengidentifikasi apakah pada plot domain frekuensi (spektrum) terdapat amplitudo tinggi pada frekuensi cacat bantalan bola. Pada kedua pendekatan tersebut amplitudo cacat bantalan bola terutama cacat bantalan bola yang masih kecil data akan berpotensi tertutup oleh *noise*. Apabila tidak dilakukan *preprocessing* sinyal menggunakan TSA, data akan berpotensi tertutup oleh *noise* dan sulit untuk diidentifikasi, sehingga perlu dilakukan *preprocessing* sinyal menggunakan TSA ini agar *noise* dapat tereduksi. Setelah *noise* tereduksi maka proses identifikasi cacat pada bantalan bola akan lebih mudah. Tahap selanjutnya yaitu menarik kesimpulan mengenai penelitian yang dilakukan beserta hasil yang telah diperoleh.

### **3.2 Alat dan Bahan Penelitian**

Pengujian dilakukan pada prototipe *fan* industri dengan pengambilan data getaran bantalan bola yang diuji secara bergantian pada prototipe *fan* industri. Bantalan tersebut memiliki 3 kondisi yang berbeda-beda yaitu, bantalan kondisi normal, cacat lintasan luar, dan cacat lintasan dalam. Adapun rincian alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

### 3.2.1 Prototipe *Fan* Industri

*Fan* yang digunakan adalah jenis *fan* aksial yang memiliki tiga buah *blades* (bilah) seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2 yang berfungsi untuk menghasilkan aliran fluida yang berupa udara.



Gambar 3.2 Prototipe *Fan* Industri

### 3.2.2 Motor Listrik (Dinamo)

Motor listrik (dinamo) berfungsi sebagai penggerak utama *fan* aksial yang dihubungkan dengan *Belt-pulley* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.4. Spesifikasi motor listrik yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut:

**Tabel 3.1** Spesifikasi Motor Listrik

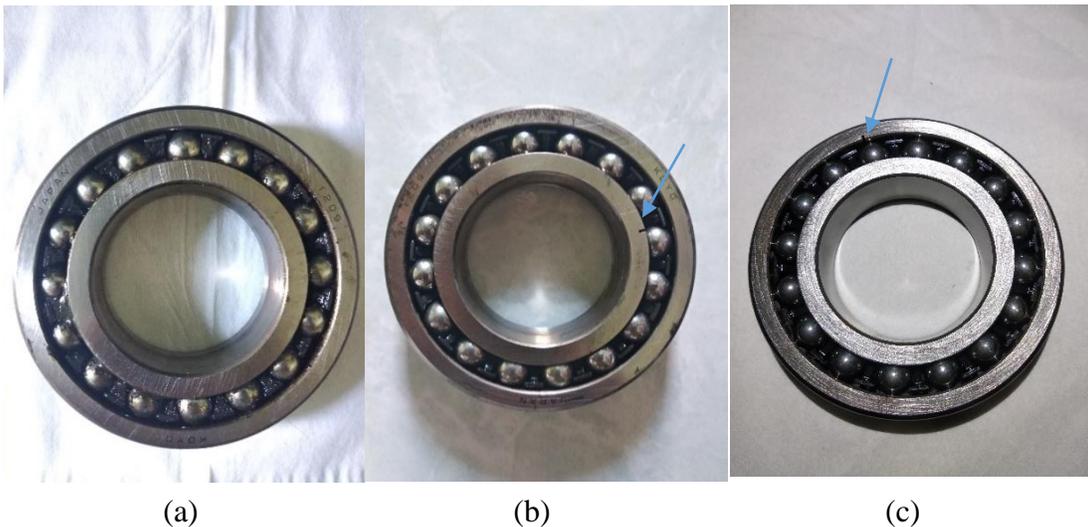
Merk	: Electron	No	: 13060503
Tipe	: JY2B-2	<i>Phase</i>	: 1
Daya	: 750 Watt	<i>Poles</i>	: 2
Arus	: 6,49 A	Kecepatan	: 2850 rpm
<i>Volt</i>	: 220 V	Frekuensi	: 50 Hz



Gambar 3.3 Motor Listrik

### 3.2.3 Bantalan Bola

Penelitian ini menggunakan tiga buah bantalan bola dengan kondisi yang berbeda-beda seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.4. Kondisi pertama yaitu bantalan bola normal (tanpa cacat) seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.4 (a), kondisi kedua yaitu bantalan bola cacat pada bagian lintasan dalam (*inner race*) seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.4 (b), dan kondisi ketiga yaitu bantalan bola cacat pada bagian lintasan luar (*outer race*) seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.4 (c).



Gambar 3.4 (a) Bantalan bola normal (tanpa cacat), (b) Bantalan bola cacat pada lintasan dalam (*inner race*), (c) Bantalan bola cacat pada lintasan luar (*outer race*)

Cacat pada bantalan bola ini dilakukan dengan cara merusak pada bagian lintasan dalam dan lintasan luar menggunakan *Electrical Discharge Machine* (EDM) dengan kedalaman 2 mm dan lebar 0,7 mm untuk bagian lintasan luar, sedangkan untuk bagian lintasan dalam dengan kedalaman 2 mm dan lebar 0,7 mm. Pemberian cacat dengan cara merusak menggunakan bantuan EDM ini mungkin tidak seperti yang terjadi di industri, karena cacat bantalan bola yang terjadi di industri membutuhkan penggunaan dan waktu pengoperasian yang cukup lama sehingga untuk mendapatkan bentuk cacat seperti aslinya akan lebih sulit. Oleh karena itu pada penelitian ini akan disimulasikan pemberian cacat bantalan bola yang dilakukan dengan menggunakan bantuan EDM, dimana ukuran cacat yang diberikan disesuaikan dengan geometri bantalan yang digunakan.

#### 3.2.4 Kunci Ring Pas

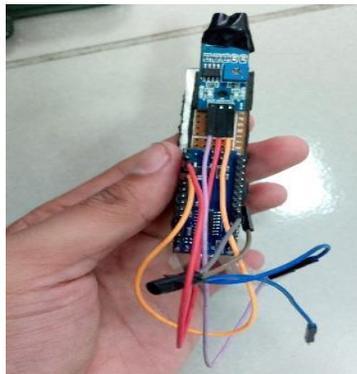
Kunci ring pas seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.5 digunakan untuk membuka dan mengunci baut pada saat pemasangan dan penggantian bantalan normal maupun bantalan cacat (rusak) pada *fan* aksial.



Gambar 3.5 Kunci Ring Pas

### 3.2.5 Tachometer

*Tachometer* pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui kecepatan putar poros *fan* aksial dalam keluaran satuan rpm seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.6. Sinyal dari *tachometer* direkam melalui instrumen akuisisi data. Perekaman sinyal akselerometer akan di *trigger* oleh sinyal dari tachometer ini sehingga perekaman data dapat digunakan untuk melakukan pemrosesan sinyal berbasis TSA.



Gambar 3.6 *Tachometer*

### 3.2.6 Laptop

Laptop pada penelitian ini berguna sebagai penyimpanan data sinyal dari Data Akuisisi (DAQ) dengan menggunakan *port* USB pada pengukuran getaran pada *fan* aksial yang dapat dilihat pada gambar 3.7. Laptop yang digunakan pada penelitian bermerek ASUS dengan spesifikasi yang dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut ini:

**Tabel 3.2** Spesifikasi Laptop

1.	<i>Operating System</i>	Windows 10 Pro 64-bit
2.	Tipe	A450C
3.	<i>Processor</i>	Intel® Core™ i3-3217U CPU @ 1.80GHz
4.	<i>Memory</i>	8 GB
5.	Hardiks	500 GB



Gambar 3.7 Laptop

### 1.2.7 Aplikasi Software

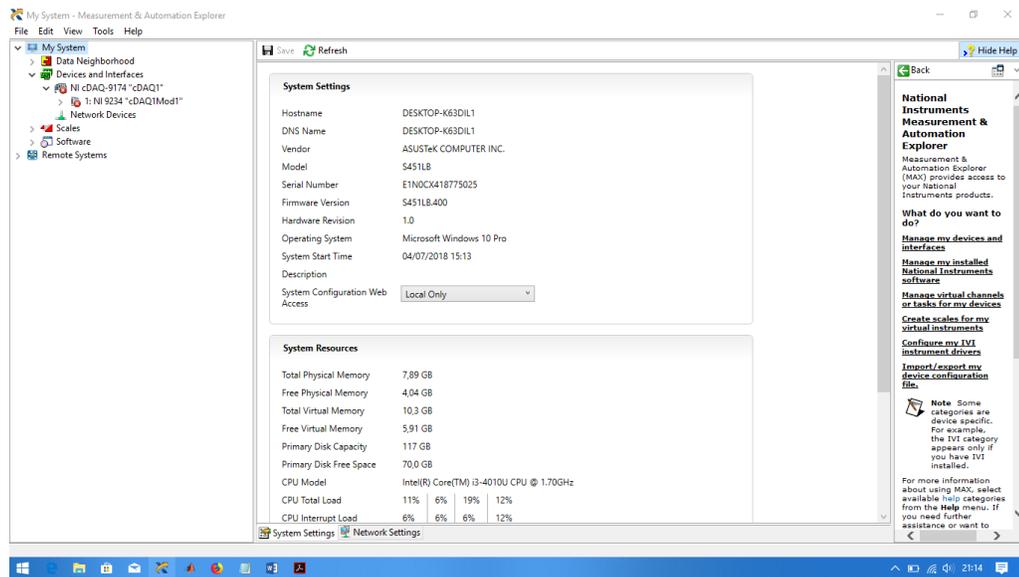
Pada penelitian ini terdapat dua *software* yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.8. *Software* yang pertama adalah matlab R2018a yang digunakan untuk pengambilan data getaran seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.8 (a), dan *software* kedua adalah NI cDAQ-9174 yang digunakan sebagai pembaca dari modul data akuisisi seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.8 (b).

```

1 %Script to run data acquisition using National Instrument NI 9234
2 %Created: Oct 2016, Berli Ramiel
3
4 clear all;
5 cio;
6 close all;
7
8
9 tic;
10
11 s = daq.createSession('ni');
12 s.DurationInSeconds = 10;
13 Dur = s.DurationInSeconds;
14 s.Rate = 17046;
15 s.addAnalogInputChannel('cDAQ1Mod1', 'ai0', 'Accelerometer');
16 s.addAnalogInputChannel('cDAQ1Mod1', 'ai1', 'Accelerometer');
17 s.addAnalogInputChannel('cDAQ1Mod1', 'ai2', 'Accelerometer');
18 s.addAnalogInputChannel('cDAQ1Mod1', 'ai3', 'Voltage'); % Tachometer
19 s.addAnalogInputChannel('cDAQ1Mod2', 'ai0', 'Microphone');
20 s.addAnalogInputChannel('cDAQ1Mod2', 'ai1', 'Microphone');

```

(a)

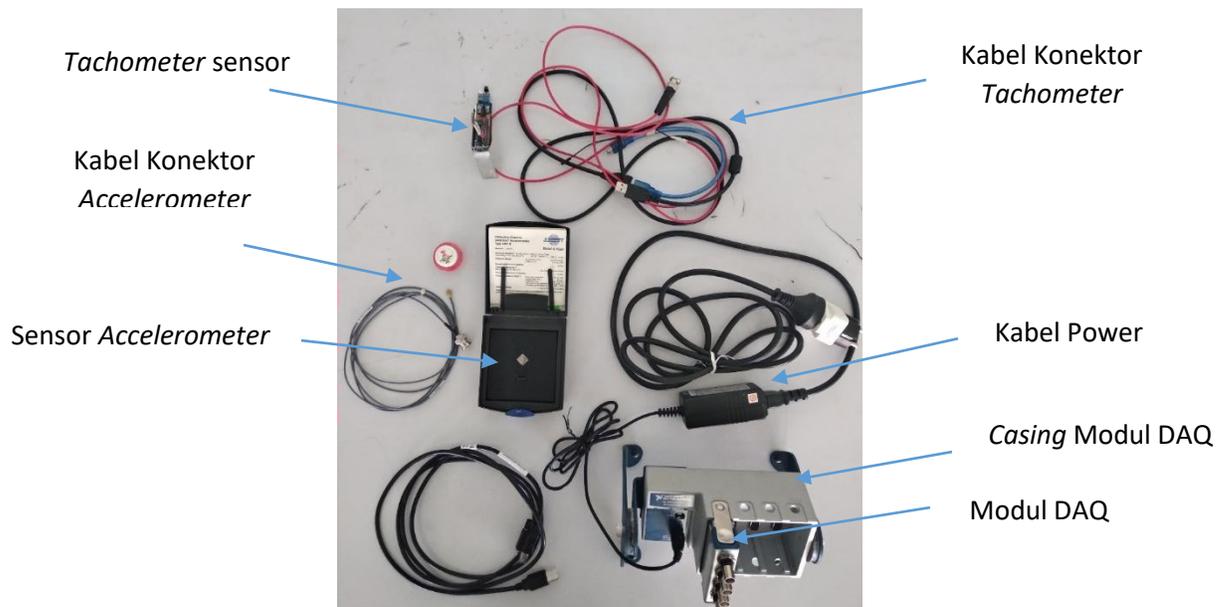


(b)

Gambar 3.8 Tampilan (a) *Software Matlab R2018a*, (b) *Software NI cDAQ-9174*

### 3.2.8 Peralatan Data Akuisisi

Penelitian ini menggunakan peralatan data akuisisi yang memiliki beberapa komponen dan fungsi tersendiri seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.9 berikut ini.



Gambar 3.9 Peralatan Data Akuisisi

### A. Akselerometer

Akselerometer adalah alat yang berfungsi untuk mengubah gelombang mekanik menjadi sinyal elektronik. Penelitian ini menggunakan sebuah sensor *piezoelectric accelerometer* dengan tipe 4507 B dari Bruel & Kjaer seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.10. Spesifikasi akselerometer yang digunakan tersebut dapat dilihat pada tabel 3.3 berikut ini:

Tabel 3.3 Spesifikasi Akselerometer

1.	No Seri	30171
2.	Tipe	4507 B satu konektor
3.	Frekuensi <i>Range</i>	0,3 – 6000 Hz
4.	Sensitifitas	(9,953 mV/ms <sup>2</sup> ) (97,60 Mv/g)
5.	<i>Mounted</i> Resonansi Frekuensi	18 kHz
6.	Operasi <i>Temperature Range</i>	(-54 - +121°C) (-65 - +250 °F)
7.	Maksimum <i>Shock</i>	5 Kg
8.	<i>Measuring Range</i>	71 g peak
9.	Berat	4,8 g
10.	<i>Mounting</i>	Menempel dengan <i>wax</i>
11.	Tipe Kabel	AO - 0531



Gambar 3.10 Akselerometer

### B. Kabel Konektor Akselerometer

Kabel konektor akselerometer berfungsi sebagai penghubung akselerometer ke modul data akuisisi pada setiap channelnya. Terdapat satu kabel yang digunakan yaitu tipe AO-0531 seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.11 berikut ini.



Gambar 3.11 Kabel Konektor Akselerometer

### C. Modul Data Akuisisi (DAQ)

Modul DAQ (*Data Acquisition*) berfungsi untuk mengakuisisi sinyal getaran yang diambil oleh akselerometer yang dihubungkan langsung dengan DAQ yang kemudian diterjemahkan ke laptop. Modul data akuisisi yang digunakan dalam penelitian ini merupakan modul dari National Instrumen tipe NI 9234 yang telah dilengkapi dengan pengkondisian sinyal dan *filter anti-aliasing*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Modul DAQ

#### D. *Casing* Modul DAQ

*Casing* modul DAQ berguna sebagai tempat peletakan modul data akuisisi yang disambungkan secara langsung. *Casing* tersebut memiliki empat slot data modul yang dapat digunakan. *Casing* yang digunakan tersebut merupakan *casing* dari National Instrumen yang sesuai dengan modul data akuisisi seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.13 berikut ini:

Gambar 3.13 *Casing* Modul DAQ

#### E. Kabel USB

Kabel USB berguna untuk menstransfer sinyal getaran dari modul DAQ ke laptop seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.14 berikut ini.



Gambar 3.14 Kabel USB

#### F. Kabel Power

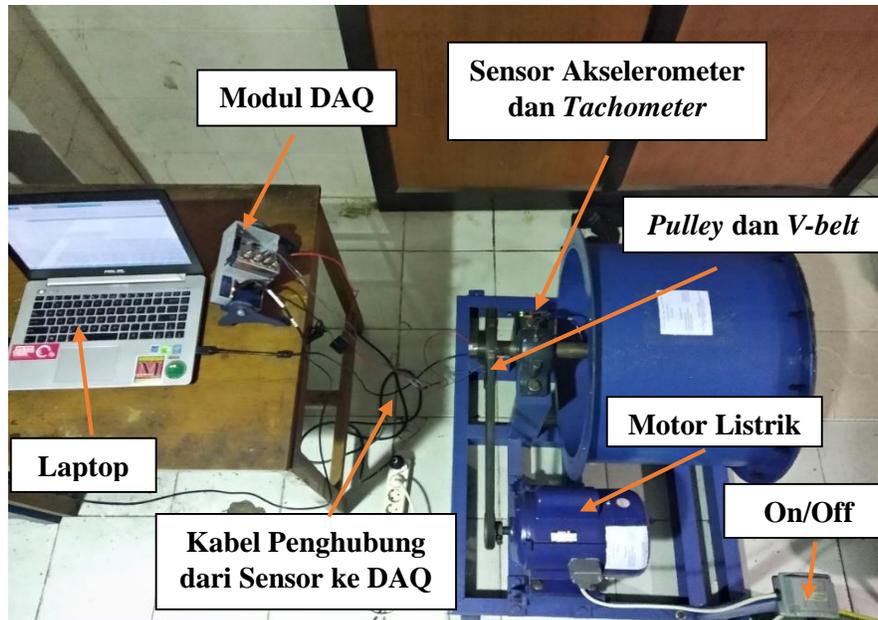
Kabel power merupakan sebuah perangkat yang berguna untuk menyalurkan arus listrik ke *casing* DAQ, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.15 berikut ini.



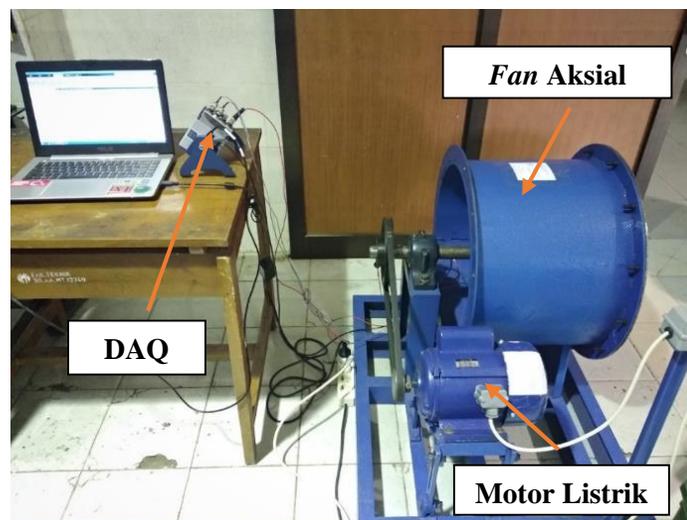
Gambar 3.15 Kabel Power

### 3.3 Skema Alat Uji Penelitian

Alat uji pada penelitian ini menggunakan *fan* aksial yang digerakkan oleh motor listrik (dinamo). Daya motor listrik disalurkan ke *fan* melalui mekanisme *belt-pulley* seperti yang dapat dilihat pada gambar 3.16 dan 3.17 berikut ini.



Gambar 3.16 Instalasi Eksperimen Pengujian Bantalan Bola pada *Fan* Aksial



Gambar 3.17 Instalasi Motor Listrik (Dinamo) dengan *Fan* Aksial dan DAQ

Penelitian ini menggunakan *pulley* yang dipasang pada motor listrik dan *fan*. *Belt* dan *pulley* berguna sebagai mekanisme penggerak antara putaran yang dihasilkan oleh motor listrik yang kemudian akan disalurkan ke *fan* aksial. *Pulley* tersebut memiliki ukuran diameter 3 inch yang terpasang pada motor listrik dan 8 inch yang terpasang pada *fan* aksial sehingga kecepatan putar poros *fan* akan lebih lambat dari kecepatan putar poros motor listrik seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.18 berikut ini.



Gambar 3.18 *Belt-Pulley* antara Motor Listrik dan *Fan* Aksial

Pemasangan akselerometer dilakukan pada rumah bantalan bola *fan* aksial yang diletakkan pada posisi arah horizontal. Akselerometer terpasang pada arah horizontal yang terhubung dengan *channel* 1 pada modul DAQ melalui kabel konektor akselerometer, sedangkan untuk tachometer terpasang dengan modul DAQ pada *channel* 4. Data sinyal getaran yang digunakan untuk proses analisis cacat pada bantalan bola dalam penelitian ini hanya dilakukan pada posisi peletakan akselerometer dengan arah horizontal yang terhubung dengan *channel* 1.

### 3.4 Prosedur Penelitian

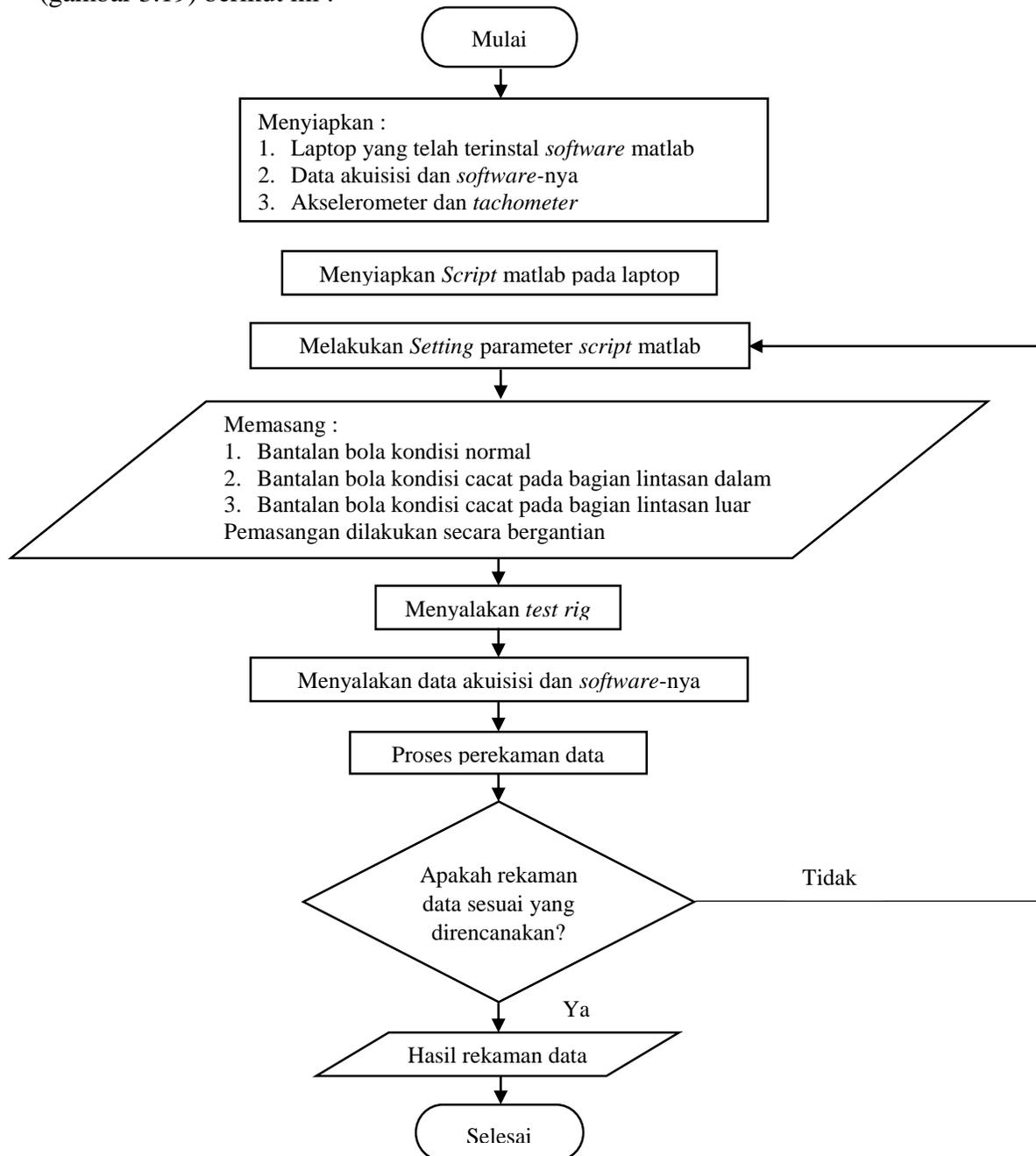
Pelaksanaan penelitian ini terdapat beberapa tahapan dan persiapan yang perlu dilakukan yaitu pengecekan pada peralatan dan perlengkapan alat uji. Hal tersebut dapat membantu kelancaran dalam proses pelaksanaan penelitian dan menghindarkan dari hal-hal yang tidak diinginkan seperti terjadinya kecelakaan kerja saat proses

pengambilan data atau kurangnya peralatan uji yang akan digunakan. Persiapan dan tahapan pengujian yang perlu dilakukan sebelum penelitian adalah sebagai berikut:

1. Melakukan persiapan perlengkapan alat uji seperti motor listrik (dinamo), *test rig*, dan *fan* aksial.
2. Melakukan persiapan perlengkapan seperti kunci ring pas, akselerometer dan *tachometer*.
3. Melakukan persiapan tiga sampel bantalan bola yang akan diuji secara bergantian pada *fan* aksial.
4. Melakukan persiapan perlengkapan alat uji seperti peralatan DAQ, laptop sudah menyala, *software* matlab R2018a sudah *load* dan *script* sudah benar, dan *software* NI Cdaq-9174 sudah *load*.
5. Memastikan pengaturan parameter akuisisi data sudah dilakukan dengan benar.
6. Memastikan bantalan bola telah dipasang pada *fan* aksial dengan benar.
7. Memastikan motor listrik (dinamo) dan *fan* telah terpasang ke *test rig* dengan benar bersamaan dengan pemasangan *pulley* dan *belt* pada motor listrik dan *fan* aksial.
8. Memastikan *tachometer* telah terpasang pada fan aksial dengan benar.
9. Memastikan motor listrik sudah siap untuk dinyalakan.
10. Memastikan data akuisisi telah siap untuk digunakan.
11. Melakukan pemeriksaan dan pengecekan kontruksi pada alat uji agar tidak terdapat kesalahan sebelum proses pengambilan data.
12. Memastikan bahwa aturan-aturan *safety* sudah diikuti sehingga potensi kecelakaan kerja dapat dihindari.

### 3.5 Proses Pengambilan Data

Proses pengambilan data pada penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir (gambar 3.19) berikut ini :



Gambar 3.19 Diagram alir proses pengambilan data

Proses pengambilan data dapat dilakukan dengan menyiapkan peralatan yang mendukung proses tersebut. Peralatan ini berupa laptop yang telah terinstal *software* matlab, data akuisisi beserta *software*-nya, akselerometer dan *tachometer*. Setelah peralatan tersebut sudah siap, tahap selanjutnya yaitu menyiapkan *script* matlab. Setelah itu tahap yang dilakukan adalah melakukan setting parameter pada *script* matlab. Tahap selanjutnya dilakukan pemasangan bantalan bola. Jumlah bantalan bola yang akan dilakukan proses pengambilan data ini berjumlah tiga buah yang dipasang secara bergantian. Ketiga bantalan bola ini memiliki kondisi yang berbeda-beda. Kondisi yang pertama yaitu bantalan normal (tanpa cacat), kondisi yang kedua yaitu bantalan bola cacat pada bagian lintasan dalam, kondisi yang ketiga yaitu bantalan bola cacat pada bagian lintasan luar.

Bantalan bola yang pertama dipasang yaitu bantalan bola dengan kondisi normal (tanpa cacat). Apabila bantalan tersebut telah terpasang dengan benar, tahap selanjutnya yang dilakukan yaitu menyalakan *test rig*. Setelah *test rig* menyala kemudian nyalakan juga data akuisisi dan *software*-nya. Data akuisisi ini diperlukan untuk menyimpan data sementara. Apabila tahap yang dilakukan sebelumnya sudah siap maka proses perekaman data siap untuk dimulai dengan jumlah data yang diambil sebanyak 30 file. Setelah perekaman data selesai, maka perlu di cek apakah data sesuai dengan yang direncanakan atau tidak. Apabila data tidak sesuai dengan yang telah direncanakan maka perekaman data harus diulang lagi hingga data sesuai rencana.

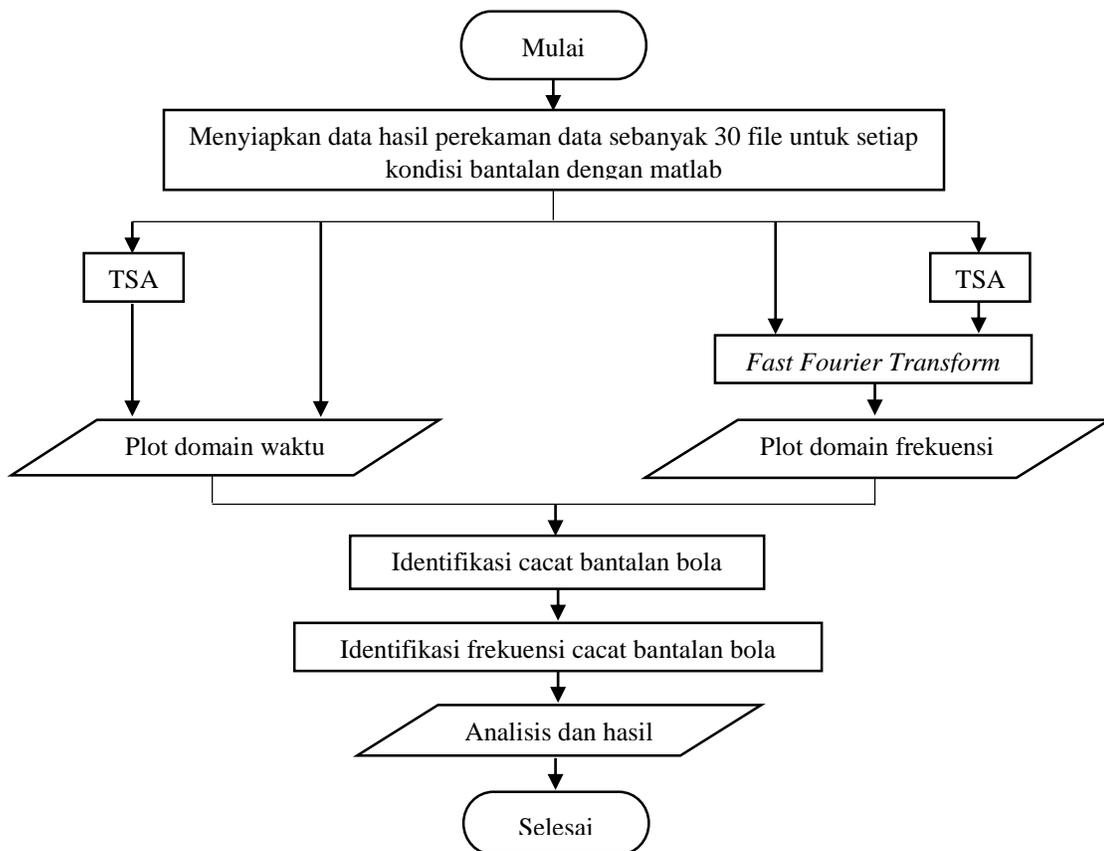
Sinyal getaran dari masing-masing kondisi bantalan direkam sesuai dengan parameter rekaman yang telah ditentukan. Proses ini dilakukan berulang kali untuk memastikan bahwa data yang direkam telah sesuai dengan rencana. Tahapan proses pengambilan data getaran untuk setiap kondisi bantalan bola menggunakan parameter yang serupa, yaitu :

1. Menghidupkan motor dengan kecepatan putar maksimal sehingga *fan* berputar dengan kecepatan  $(3/8) \times 2850$  rpm atau sama dengan 1068 rpm.

2. Merekam data sinyal getaran bantalan menggunakan akselerometer dan data kecepatan poros *fan* menggunakan *tachometer* pada data akuisisi. Untuk *chanel* 1 tersambung akselerometer dan untuk *chanel* 4 tersambung *tachometer*.
3. Perekaman data sinyal getaran dilakukan menggunakan *software* matlab R2018a dengan proses perekaman data sebagai berikut :
  - a. Jumlah file 30 untuk per kecepatan dengan *sampling rate* 17066 Hz.
  - b. Waktu perekaman 10 detik dengan jeda 2 detik untuk setiap file.
4. Menyimpan file hasil rekaman sinyal getaran bantalan dari data akuisisi dalam bentuk file dengan ekstensi *.mat*.

### 3.6 Tahap Analisis Data

Tahap analisis data pada penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir (gambar 3.20) berikut ini :



Gambar 3.20 Diagram alir tahap analisis data

Langkah –langkah yang dilakukan pada saat melakukan analisis data adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan data sinyal getaran bantalan bola dengan variasi kondisi yang telah terekam pada data akuisisi sebanyak 30 file dengan ekstensi matlab (.mat) menggunakan *script* matlab yang sudah diteliti dengan benar.
2. Data yang telah disiapkan kemudian dilakukan dua pendekatan. Pendekatan pertama dilakukan plot domain secara langsung dari data yang diperoleh dari akselerometer. Data yang diperoleh dengan pendekatan ini masih berpotensi tertutup oleh *noise*. Pendekatan kedua dilakukan *preprocessing* sinyal menggunakan TSA untuk mereduksi *noise* sehingga nilai SNR akan meningkat dan menghasilkan kualitas sinyal yang relatif lebih halus. Kedua pendekatan ini dilakukan untuk melakukan plot domain waktu dan domain frekuensi, namun untuk melakukan plot domain frekuensi harus dilakukan FFT terlebih dahulu agar sinyal dapat berubah dari time domain ke frekuensi domain.
3. Menampilkan plot grafik pada domain waktu untuk setiap kondisi bantalan (normal, cacat *inner race*, cacat *outer race*).
4. Menampilkan plot grafik pada domain frekuensi untuk setiap kondisi bantalan (normal, cacat *inner race*, cacat *outer race*).
5. Melakukan identifikasi cacat bantalan bola pada spektrum untuk masing-masing kondisi bantalan bola . Bantalan bola yang cacat akan menunjukkan amplitudo yang tinggi pada frekuensi cacat bantalan bola.
6. Melakukan analisis dari hasil yang telah diperoleh sehingga dapat membedakan kondisi cacat untuk masing-masing bantalan bola.