

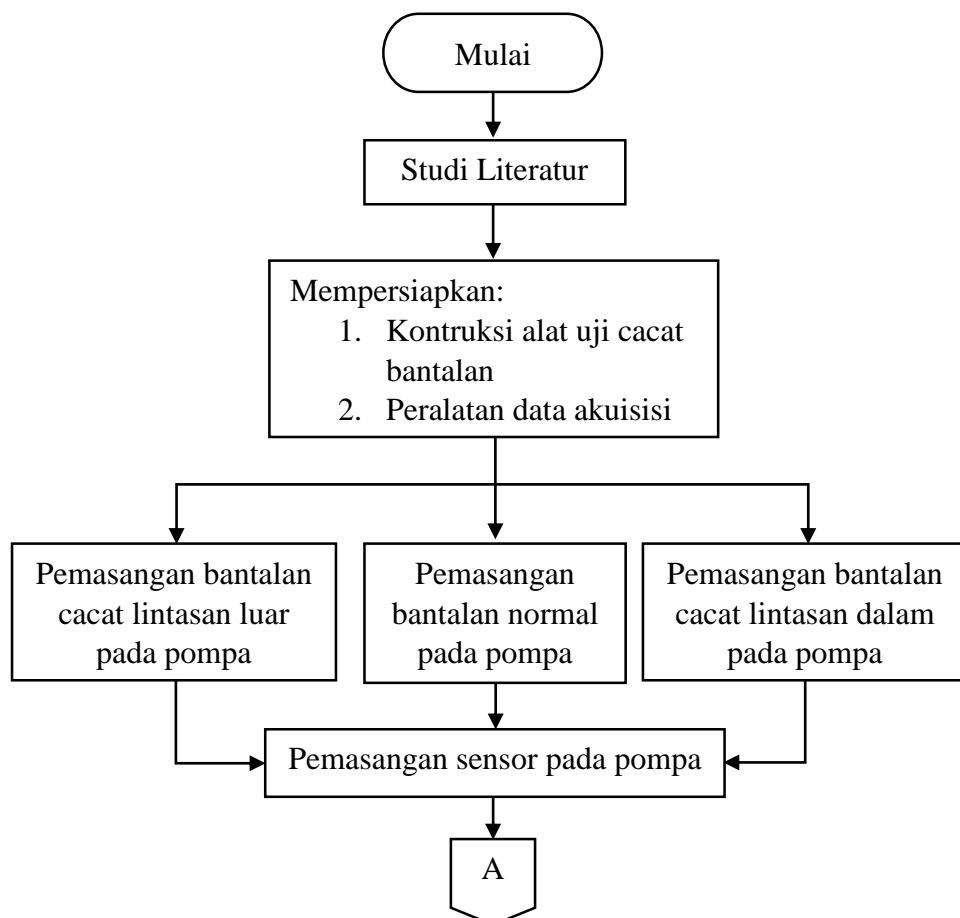
BAB III

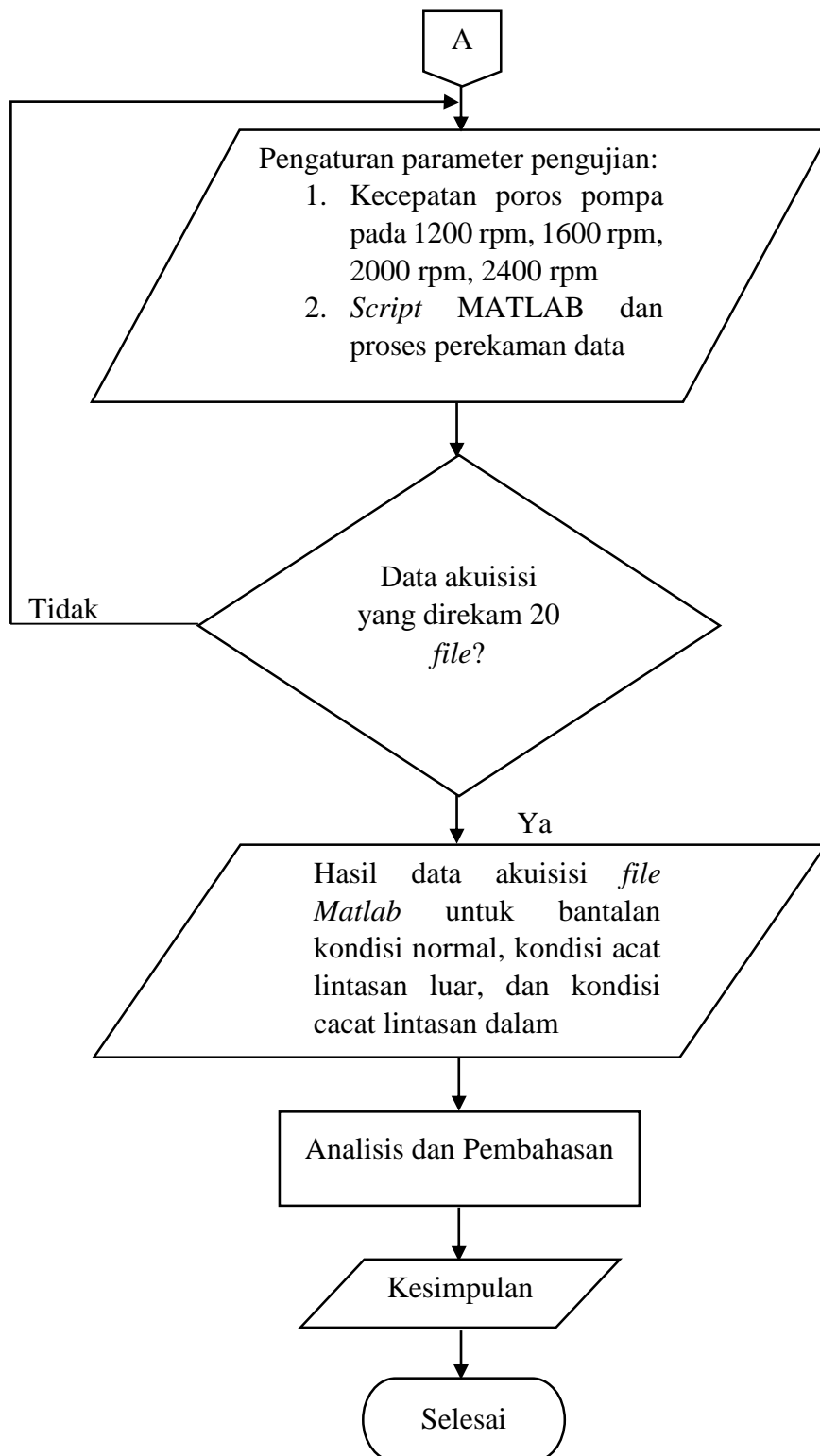
METODE PENELITIAN

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

3.1. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian digunakan sebagai gambaran rangkaian kegiatan penelitian yang secara garis besar dapat dilihat pada gambar 3.1 sebagai berikut:





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Pengujian dilakukan pada pompa sentrifugal dengan pengambilan data getaran yang diuji secara bergantian pada bantalan pompa sentrifugal. Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.2.1. Pompa Sentrifugal

Pompa yang digunakan adalah jenis pompa sentrifugal 1 HP seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2 yang berfungsi untuk memompa air dari *reservoir* dan dikembalikan lagi ke *reservoir* melalui selang dan pipa akrilik. Berikut ini adalah spesifikasi pompa yang digunakan:

| | |
|--------------------|-------------------------|
| Merek | : Dong Dong |
| Tipe | : Sentrifugal TB-40 NEW |
| Kapasitas maksimum | : 40 L/min |
| Head maksimum | : 45 m |
| Suction maksimum | : 8 m |



Gambar 3.2 Pompa Sentrifugal

3.2.2. Motor Listrik

Motor listrik berfungsi sebagai penggerak utama pompa sentrifugal yang dihubungkan dengan *Belt-Pulley* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3. Berikut ini spesifikasi motor listrik yang digunakan dalam penelitian:

| | |
|-------|----------------------|
| Merek | : Electron |
| Tipe | : JY2B-2 |
| Daya | : 0,75 kW / 750 Watt |

Volt : 220 V
Arus : 6,49 A
Frekuensi maksimum : 50 Hz
Poles : 2
Phase : 1
Kecepatan : 2850 rpm

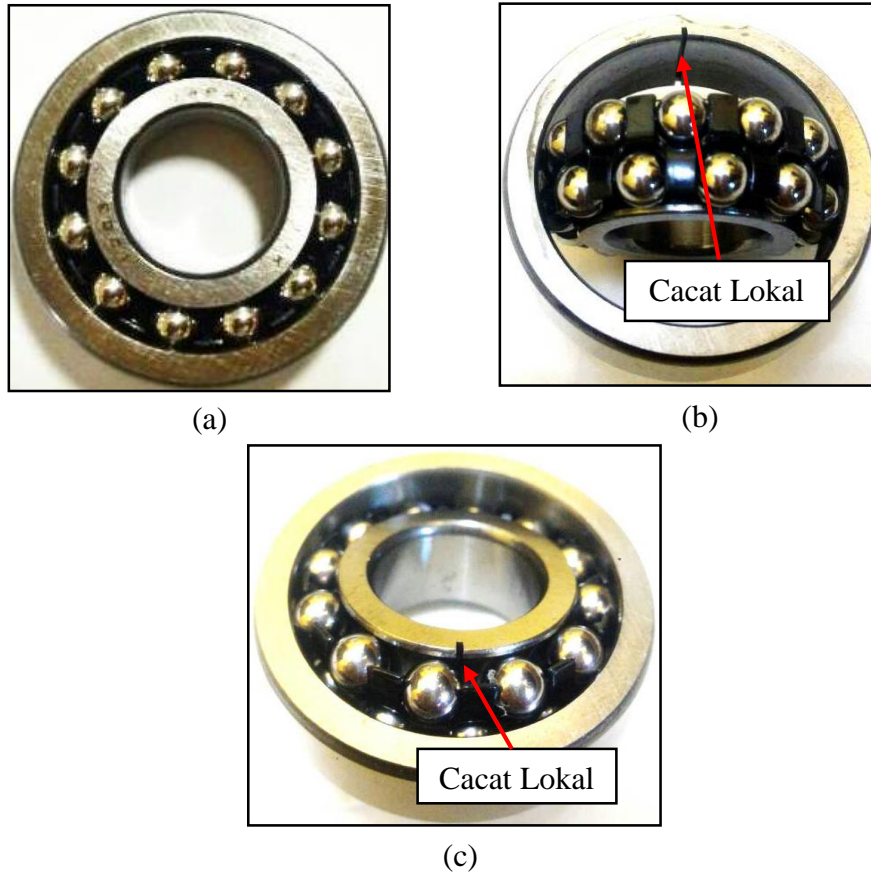


Gambar 3.3 Motor Listrik

3.2.3 Bantalan Bola

Penelitian ini menggunakan tiga buah bantalan bola dengan kondisi yang berbeda seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4. Kondisi pertama adalah bantalan bola normal (tanpa cacat) yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 (a), kondisi kedua adalah bantalan bola cacat (rusak) pada bagian lintasan luar yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 (b), dan kondisi ketiga adalah bantalan bola cacat pada bagian lintasan dalam yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 (c). Cacat pada bantalan bola ini dilakukan dengan cara merusak pada bagian lintasan luar dan lintasan dalam menggunakan *Electrical Discharge Machine* (EDM) dengan kedalaman 2 mm dan lebar 0,8 mm untuk bagian lintasan dalam, dan 2,5 mm dengan lebar 0,8 mm untuk lintasan luar. Pemberian cacat yang dilakukan dengan bantuan EDM ini memang tidak seperti dengan yang terjadi di industri, karena cacat yang dialami oleh bantalan di industri membutuhkan penggunaan dan waktu pengoperasian yang cukup lama sehingga untuk mendapatkan bentuk cacat yang sesuai dengan aslinya akan sangat sulit. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan disimulasikan pemberian cacat pada bantalan

bola dilakukan dengan menggunakan bantuan EDM, dimana ukuran yang diberikan disesuaikan dengan geometri dari bantalan yang digunakan.



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

3.2.4. *Reservoir*

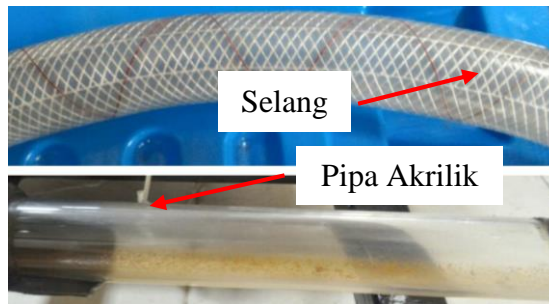
Reservoir digunakan untuk menampung air yang akan dihisap oleh pompa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5 *Reservoir*

3.2.5. Pipa Akrilik dan Selang

Pipa akrilik dan selang berfungsi untuk menghubungkan aliran air dari *reservoir* ke pompa dan dari pompa ke *reservoir* lagi seperti ditunjukkan pada Gambar 3.6. Dengan diameter dalam pipa akrilik 26 mm dan diameter luar 30 mm, sedangkan selang yang digunakan berukuran 1 inch.



Gambar 3.6 Pipa akrilik dan selang

3.2.6. Kunci Pas Ring

Kunci pas ring seperti ditunjukkan pada Gambar 3.7 digunakan untuk membuka dan mengunci baut pada saat penggantian dan pemasangan bantalan normal maupun bantalan cacat pada pompa sentrifugal.



Gambar 3.7 Kunci pas ring

3.2.7. Tachometer

Tachometer berfungsi untuk mengetahui kecepatan putar poros pompa sentrifugal dalam keluaran satuan rpm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8. *Tachometer* yang digunakan ini adalah jenis digital dengan sensor *proximity switch* sebagai sensor untuk mengetahui putaran poros pompa yang dihasilkan.



Gambar 3.8 *Tachometer*

3.2.8. *Inverter*

Inverter berfungsi untuk mengatur kecepatan motor listrik AC dengan cara merubah frekuensi outputnya. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.9. *Inverter* yang digunakan adalah *inverter* 1 phase dan daya keluaran maksimum 0,75 kW dengan merek LSIS tipe SV008iC5-1 yang diproduksi dari Korea.



Gambar 3.9 *Inverter*

3.2.9. Laptop

Laptop berfungsi sebagai penyimpanan data sinyal dari DAQ dengan menggunakan port USB pada pengukuran getaran pompa sentrifugal. Gambar 3.10 merupakan laptop yang digunakan dalam penelitian dengan merek ASUS tipe intel

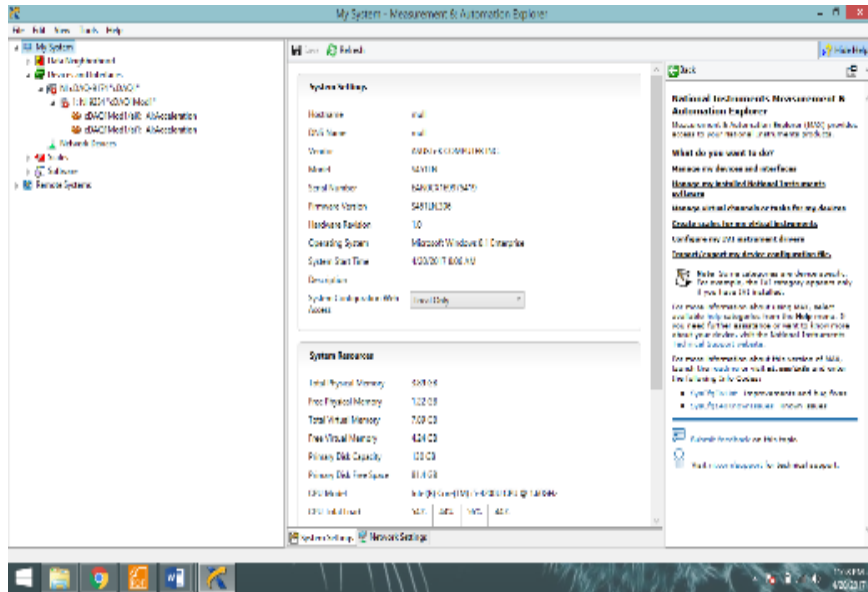
Core i5 RAM 4 GB dan *hardisk* 1 TB (1000 GB). Seperti yang tinjukkan pada Gambar 3.11 terdapat 2 *software* pendukung yang digunakan, yaitu matlab R2015a dengan program untuk pengambilan data getaran yang ditunjukkan pada gambar 3.11 (a) dan *software* NI cDAQ-9174 sebagai pembaca dari modul data aquisisi yang ditunjukkan pada Gambar 3.11 (b).



Gambar 3.10 Laptop

```
1 - clear
2 - plotTimeDomain.m
3 - close
4 - FFT.m
5 - load('F:\SKRIPSI\Data Skripsi\bearing\normal\rpm_2400\normal10.mat')
6 - y1=data_all(:,1);
7 - load('F:\SKRIPSI\Data Skripsi\bearing\inner\rpm_2400\inner18.mat')
8 - y2=data_all(:,1);
9
10
11 - sampling_rate=52066; %kecepatan sampling Hz
12 - recording_time=10; %waktu perekaman data (recording time)
13 - L=sampling_rate*recording_time; %panjang data (length of signal)
14
15 - load('F:\SKRIPSI\Data Skripsi\bearing\normal\rpm_2400\normal2.mat')
16 - analy=hilbert(data_all);
17 - y=abs(analy);
18 - T=recording_time;
19 - sig_f=abs(fft(y(1:L),L));
20 - sig_n3=sig_f/(norm(sig_f));
21 - freq_n3=(0:L-1)/T;
22 - load('F:\SKRIPSI\Data Skripsi\bearing\inner\rpm_2400\inner18.mat')
23 - analy=hilbert(data_all);
24 - y=abs(analy);
25 - T=recording_time;
26 - sig_f=abs(fft(y(1:L),L));
27 - sig_n4=sig_f/(norm(sig_f));
28 - freq_n4=(0:L-1)/T;
```

(a)

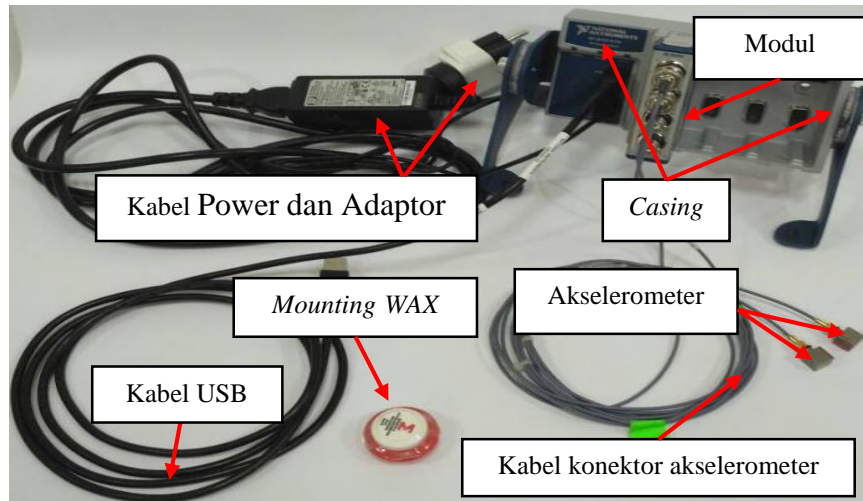


(b)

Gambar 3.11 Tampilan (a) Software Matlab R2015a, (b) Software NI cDAQ-9174

3.2.10. Peralatan Data Akuisisi

Terdapat beberapa komponen dari data akuisisi yang memiliki fungsi tersendiri yang digunakan dalam penelitian ini seperti ditunjukkan pada Gambar 3.12



Gambar 3.12 Peralatan Data Akuisisi

Akselerometer merupakan alat yang berfungsi untuk mengubah gelombang mekanik menjadi sinyal elektronik. Pada penelitian ini menggunakan dua buah sensor *piezoelectric accelerometer* dengan tipe 4507 B dari Bruel & Kjaer seperti

ditunjukkan pada Gambar 3.13. Berikut ini adalah spesifikasi akselerometer yang digunakan:

| | |
|------------------------------------|---|
| <i>Accelerometer</i> | : Sensor akselerometer dengan serial no (30171) dan (30172) |
| Tipe | : 4507 B satu konektor |
| Sensitivitas | : (9,953 mV/ms ²) (97,60 mV/g) |
| Frekuensi <i>range</i> | : 0,3 – 6000 Hz |
| <i>Mounted resonansi</i> frekuensi | : 18 kHz (18000 Hz) |
| Operasi temperatur <i>range</i> | : (-54 – +121 °C) (-65 – +250 °F) |
| Measuring Range | : 71 g peak |
| Maksimum Shock | : 5000 g |
| Berat | : 4.8 gram |
| <i>Mounting</i> | : Menempel dengan wax |
| Tipe kabel | : AO-0531 |



Gambar 3.13 Akselerometer

Kabel konektor akselerometer berfungsi untuk menghubungkan akselerometer ke modul data akuisisi pada setiap chanelnya. 2 kabel yang digunakan adalah tipe AO-0531 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Kabel konektor Akselerometer

Modul DAQ (*Data Acquisition*) digunakan untuk mengakuisisi sinyal getaran yang diambil oleh akselerometer dan dihubungkan langsung dengan DAQ kemudian ke laptop. Modul data aquisisi yang digunakan ini adalah dari National Instrumen tipe NI 9234 dan telah dilengkapi dengan pengkondisian sinyal dan *filter anti-aliasing*, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.15 berikut ini.



Gambar 3.15 Modul DAQ

Casing modul DAQ berfungsi sebagai tempat peletakan modul data aquisisi yang disambungkan secara langsung. Terdapat empat slot data modul yang dapat digunakan pada *casing* ini. *Casing* yang digunakan ini adalah *casing* dari National Instrumen yang sesuai dengan modul data akuisisi seperti ditunjukkan pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 *Casing* Modul DAQ

Kabel USB digunakan untuk mentransfer sinyal getaran dari modul DAQ ke laptop yang digunakan pada saat penelitian seperti ditunjukkan pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Kabel USB

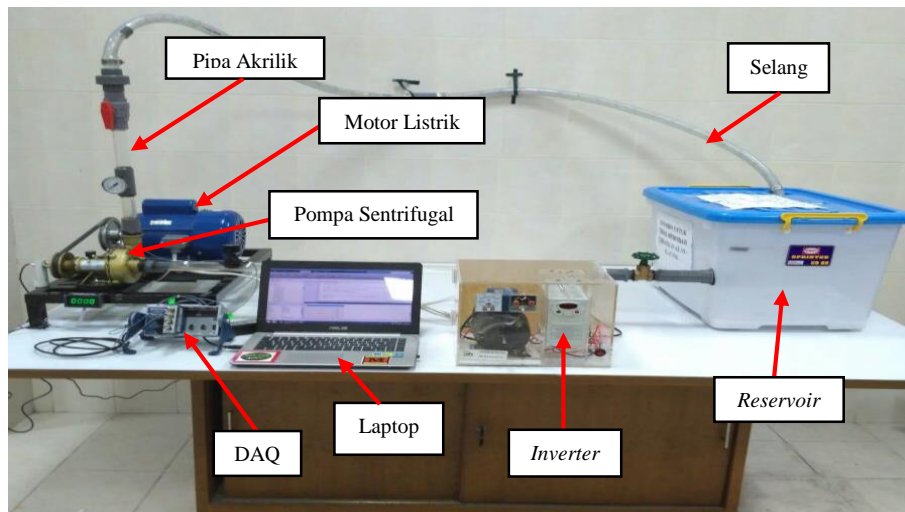
Kabel Power adalah sebuah perangkat yang berfungsi untuk menyalurkan arus listrik ke casing DAQ, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.18 berikut ini.



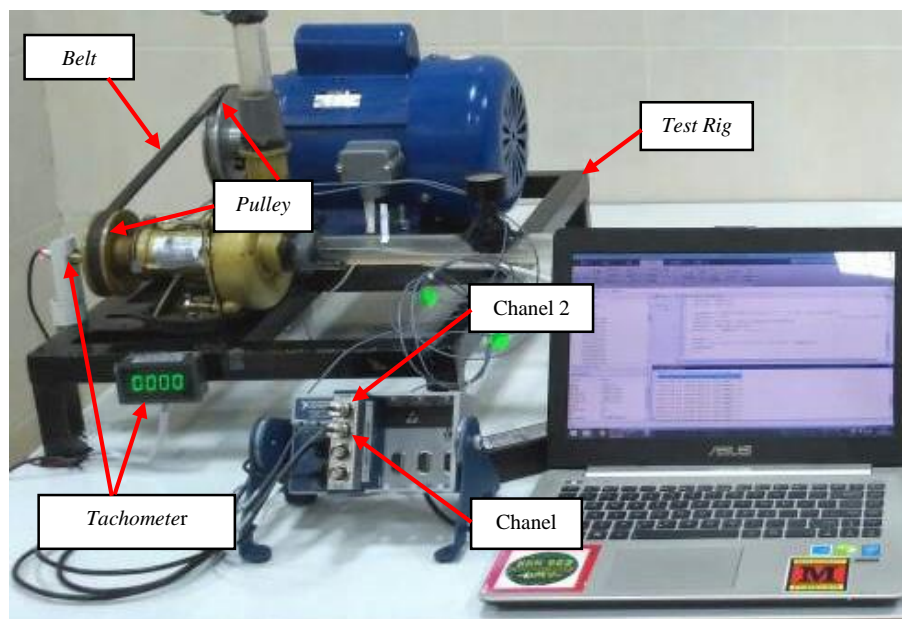
Gambar 3.18 Kabel Power

3.3. Skema Alat Uji Penelitian

Alat uji pada penelitian ini menggunakan pompa sentrifugal yang digerakan oleh motor listrik. Daya motor listrik disalurkan ke pompa melalui mekanisme *belt-pulley* seperti dapat dilihat pada Gambar 3.19 dan 3.20.

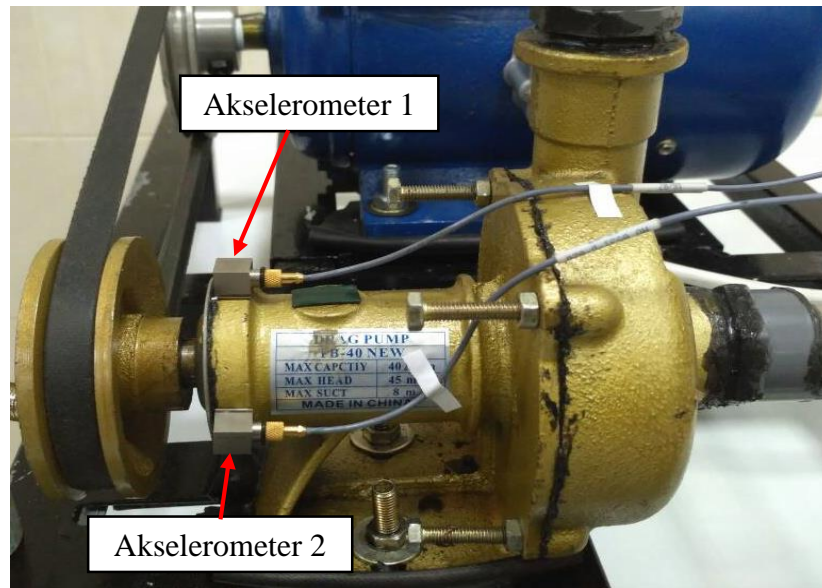


Gambar 3.19 Instalasi Ekperimen Pengujian Bantalan Bola pada Pompa Sentrifugal



Gambar 3.20 Instalasi Motor Listrik dengan Pompa Sentrifugal dan DAQ

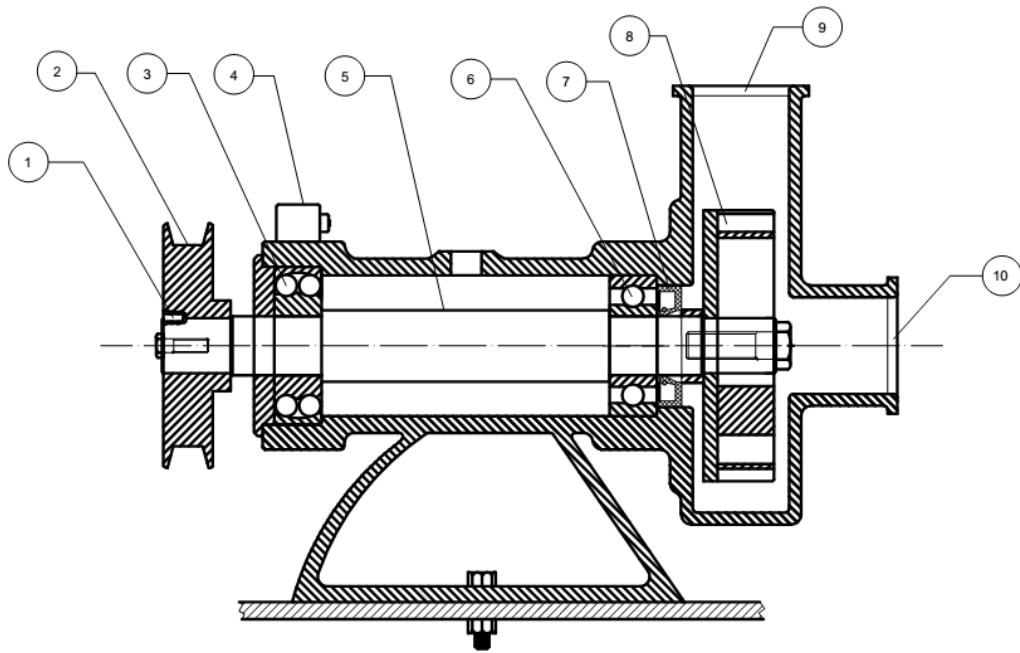
Pulley yang digunakan pada motor listrik dan pompa menggunakan ukuran berdiameter 5 inch yang terpasang pada motor listrik dan 3,5 inch yang terpasang pada pompa sentrifugal. *Pulley* dan *belt* berfungsi sebagai mekanisme penggerak antara putaran yang dihasilkan dari motor listrik yang akan disalurkan ke pompa sentrifugal.



Gambar 3.21 Lokasi Penempatan Akselerometer

Pemasangan akselerometer dilakukan pada posisi bantalan pompa sentrifugal yang diletakan pada arah horizontal dan vertikal. Akselerometer 1 terpasang pada arah vertikal yang tersambung dengan chanel 1 pada modul DAQ melalui kabel konektor akselerometer, sedangkan akselerometer 2 terpasang pada arah horizontal yang tersambung dengan chanel 2 pada modul DAQ melalui kabel konektor akselerometer. Pada penelitian ini data sinyal getaran yang digunakan untuk proses analisis cacat pada bantalan bola hanya dilakukan pada posisi peletakan akselerometer arah vertical yang tersambung dengan chanel 1.

Dapat dilihat pada Gambar 3.22 skema dari lokasi pemasangan akselerometer 1 yang diletakan tepat pada arah vertikal. Dimana lokasi pemasangan akselerometer ini dilakukan pada lokasi bantalan 1 pompa sentrifugal berada seperti yang ditunjukkan pada keterangan No 4.



Gambar 3.22 Skema Lokasi Akselerometer Pada Pompa Sentrifugal

Keterangan:

- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| 1. Pasak | 6. Bantalan 2 |
| 2. Pulley | 7. <i>Mechanical Seal</i> |
| 3. Bantalan 1 | 8. <i>Impeller</i> |
| 4. Akselerometer | 9. <i>Outlet</i> |
| 5. Poros (<i>Shaft</i>) | 10. <i>Inlet</i> |

3.4. Prosedur Penelitian

Ada beberapa tahapan dan persiapan yang perlu dilakukan sebelum pelaksanaan penelitian, yaitu pengecekan pada peralatan dan perlengkapan alat uji. Hal ini sangat membantu dalam kelancaran pelaksanaan penelitian serta menghindarkan dari hal-hal yang tidak diinginkan seperti terjadinya kecelakaan pada saat pengambilan data atau kurangnya peralatan uji yang akan digunakan. Berikut ini persiapan dan tahap pengujian yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut:

3.4.1. Persiapan Alat Uji

1. Melakukan persiapan perlengkapan alat seperti *reservoir*, motor listrik, *test rig* dan pompa sentrifugal.
2. Melakukan persiapan perlengkapan seperti kunci pas ring, *inverter*, dan *tachometer*.
3. Melakukan persiapan 3 sampel bantalan bola yang akan diuji secara bergantian pada pompa sentrifugal.
4. Melakukan persiapan perlengkapan alat uji seperti peralatan data aquisisi, dan *software* MATLAB R2015a dan NI cDAQ-9174.

3.4.2. Tahap Pengujian

1. Pemasangan bantalan bola yang akan diuji pada pompa sentrifugal.
2. Pemasangan motor listrik dan pompa ke *test rig* bersamaan dengan pemasangan *belt* dan *pulley* pada motor dan pompa sentrifugal.
3. Pemasangan pipa akrilik dan selang yang disambungkan pada pompa dengan *reservoir*.
4. Pemasangan *inverter* dan *tachometer*.
5. Pemasangan perlengkapan data aquisisi
6. Pemeriksaan dan pengecekan pada kontruksi alat uji agar tidak terjadi kesalahan sebelum proses pengambilan data.
7. Memberikan aliran listrik pada motor listrik melalui *inverter* dan peralatan data aquisisi.

3.5. Proses Pengambilan Data

Setelah peralatan uji disiapkan, langkah selanjutnya adalah pengambilan data sinyal getaran, pengujian yang pertama menggunakan bantalan dengan kondisi baik, pengujian kedua menggunakan bantalan dengan kondisi cacat di bagian lintasan luar, dan pengujian ketiga menggunakan bantalan dengan kondisi cacat di bagian lintasan dalam. Dari ketiga kondisi bantalan yang akan diuji pengambilan data getaran dilakukan dengan kecepatan putar yaitu 1200 rpm, 1600 rpm, 2000

rpm, dan 2400 rpm yang diatur menggunakan *inverter*. Ketiga tahapan proses pengambilan data getaran bantalan bola menggunakan parameter yang sama, yaitu:

1. Menghidupkan motor listrik melalui *inverter*.
2. Mengatur putaran pompa sentrifugal sesuai dengan rpm yang telah ditentukan
3. Mengukur putaran pompa sentrifugal dengan menggunakan *tachometer*.
4. Merekam data sinyal getaran pada pompa sentrifugal menggunakan *software* MATLAB R2015a dengan proses perekaman sebagai berikut:
 - a. Jumlah file 20 untuk per kecepatan.
 - b. Waktu perekaman 10 detik untuk setiap file.
 - c. Jeda waktu perekaman 5 detik untuk setiap file.
 - d. *Sampling rate* 52066 Hz.
5. Menyimpan file hasil rekaman sinyal getaran dari DAQ dalam bentuk file dengan ekstensi *.mat*.

3.6. Langkah Analisis Data

Langkah pertama dilakukan secara teoritis dengan mencari frekuensi *Ball Pass Frequency Outer* (BPFO) dan *Ball Pass Frequency Inner* (BPFI) yang telah dijelaskan dengan persamaan (2.1) dan (2.2) pada BAB II.

Langkah kedua adalah menampilkan hasil plot grafik menggunakan analisis spektrum, nilai frekuensi BPFO dan BPFI yang sesuai (mendekati) akan muncul sesuai dengan hasil teoritis. Akan tetapi pada analisis spektrum ini frekuensi dari BPFO dan BPFI akan tercampur dengan frekuensi yang lainnya. Maka dari itu langkah analisis selanjutnya adalah dengan menggunakan analisis envelope.

Langkah ketiga adalah menampilkan hasil plot grafik dengan menggunakan analisis envelope, nilai frekuensi BPFO dan BPFI dari hasil teoritis yang sesuai (mendekati) akan muncul pada spektrum envelope. Kemudian, membandingkan spektrum envelope pada kondisi normal dengan spektrum envelope pada kondisi bantalan cacat dibagian lintasan luar dan lintasan dalam. *Ball Pass Frequency Outer* (BPFO) akan muncul dengan amplitudo tinggi apabila bantalan mengalami cacat pada lintasan luar. *Ball Pass Frequency Inner* (BPFI) akan muncul dengan amplitudo tinggi apabila bantalan mengalami cacat pada lintasan dalam.