

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendekatan Penelitian

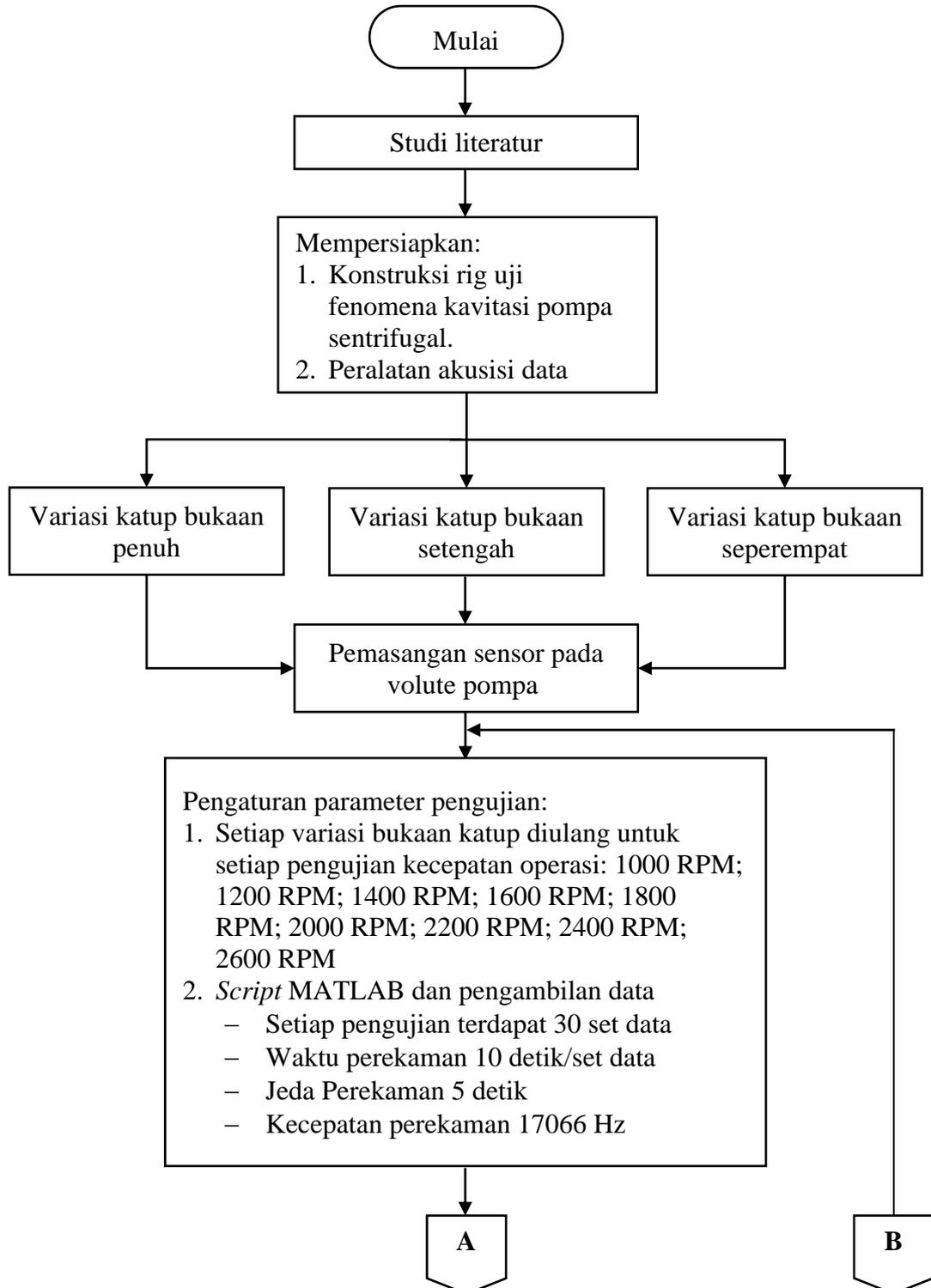
Pendekatan penelitian merupakan metode yang digunakan untuk memudahkan penelitian terhadap permasalahan yang diteliti agar dapat terlaksana dengan jelas dan membahas permasalahan secara tepat. Tugas akhir ini menggunakan metode pendekatan analisis kuantitatif dengan klasifikasi pendekatan simulasi dalam melakukan pengujian sensitifitas deteksi kavitasi yang dilakukan pada pompa sentrifugal di Simulasi Kavitasi dan Kerusakan Pompa Sentrifugal. Pendekatan simulasi adalah metode penelitian dimana melibatkan pengembangan lingkungan buatan dimana informasi dan data yang relevan dapat dihasilkan (Kothari, 2012).

Berdasarkan dari tujuan pada penelitian yaitu untuk menguji dan membuktikan apakah metode deteksi dini dengan menggunakan analisis getaran dapat dilakukan dalam mendeteksi kavitasi yang terjadi pada pompa sentrifugal. Pengujian yang dilakukan yaitu dengan menganalisis dan mendiagnosis berbasis parameter statistik berdasarkan intensitas getaran yang dihasilkan pada pompa saat beroperasi dengan variasi tiga bukaan katup yang diulang sebanyak sembilan kali kecepatan operasi.

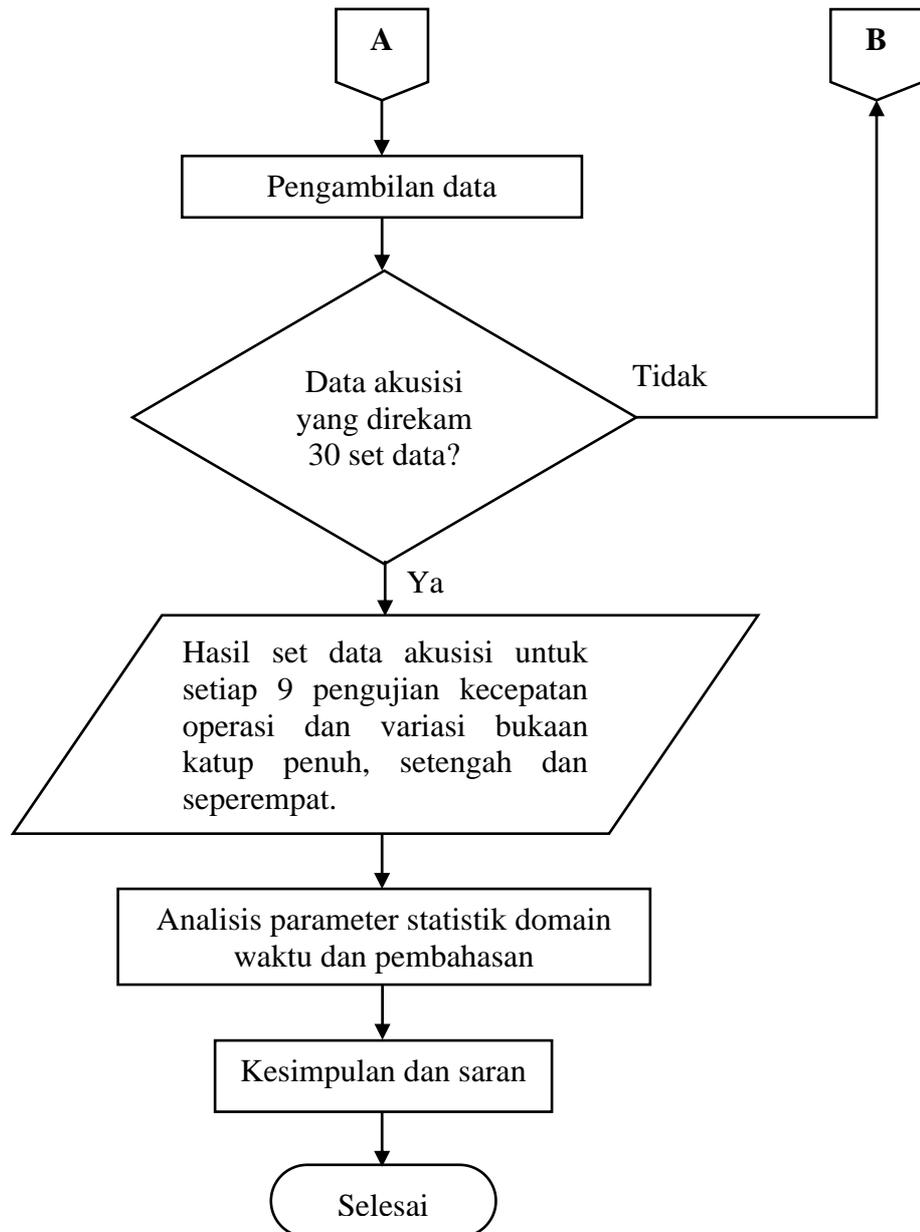
3.2 Alur Penelitian

Penelitian dimulai dengan melakukan identifikasi masalah yang telah disebutkan pada latar belakang penelitian yang kemudian ditindak lanjuti dengan pembuatan alat simulasi atau rig uji. Alat simulasi dibuat berdasarkan dari tinjauan pustaka yang telah ada dalam penelitian tentang deteksi kavitasi pada pompa sentrifugal. Pada Gambar 3.1 merupakan alur atau langkah yang diambil dalam

penelitian ini. Hasil dari penelitian ditutup dengan hasil dari diagnosis berupa kesimpulan dan saran.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

3.3 Desain dan Konstruksi Simulasi Kerusakan Pompa Sentrifugal

3.3.1 Keperluan Umum

Objek penelitian dilakukan pada pompa sentrifugal yang dipasang pada sebuah rangka/meja yang dibuat untuk meminimalisir getaran. Sebuah motor satu fase dengan dua fase isolator digunakan untuk memutar pompa. Jenis transmisi yang digunakan yaitu menggunakan dua buah *pulley* dengan rasio perbandingan 5:3 (inci) terhadap pompa. Pemasangan dan pembuatan rangka/meja dibuat secara mandiri pada laboratorium. Gambar 3.3 merupakan konstruksi dari pompa dan Gambar 3.4 merupakan spesifikasi motor yang digunakan.



Gambar 3. 3 Pompa dan motor pada rangka/meja



Gambar 3. 4 Spesifikasi motor listrik

3.3.2 Rig Uji

Rancangan pembuatan simulasi atau rig uji dibuat serelevan dan sesederhana mungkin serta sesuai dengan penggunaan yang ada pada industri. Hasil yang diharapkan bahwa munculnya kavitasi dapat dicapai dengan cara yang terkendali dan parameter yang dihasilkan dapat diukur pada tingkat akurasi yang dapat

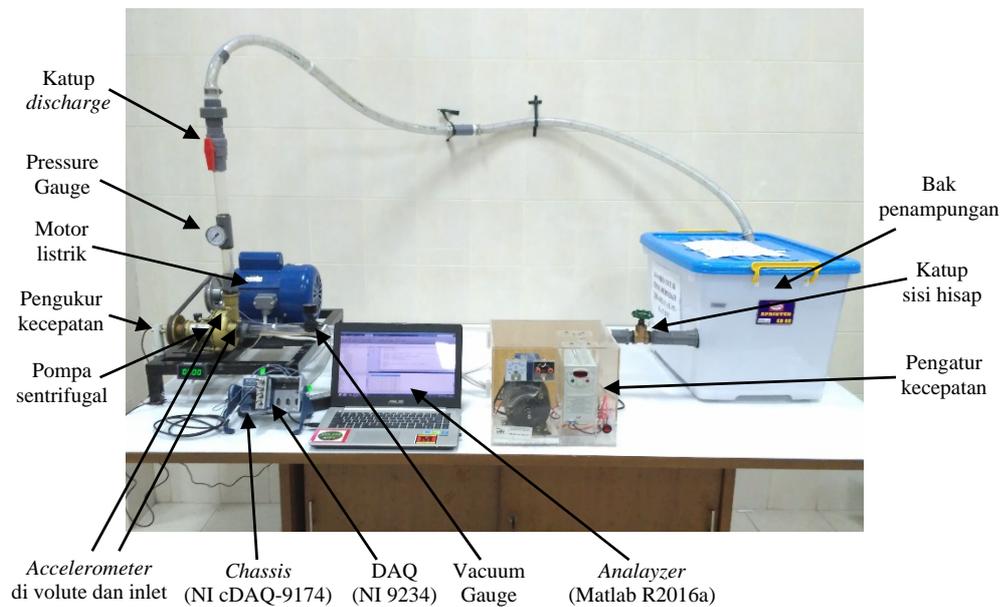
diterima. Pada Gambar 3.5 merupakan foto dari rig uji yang digunakan, Gambar 3.6 merupakan skema diagram dari rig uji dan Tabel 3.1 merupakan detail dari sistem komponen perpipaan yang digunakan. Pompa sentrifugal yang digunakan dapat menyuplai air kedalam bak penampungan dengan kecepatan aliran maksimum 40 l/m. Sistem aliran pada rig uji termasuk sebuah bak air plastik, pipa akrilik, pipa PVC dan komponen PVC. Sedangkan, Tabel 3.2 merupakan detail dan spesifikasi dari alat dan bahan pengukuran.

Tabel 3. 1 Spesifikasi perpipaan rig uji

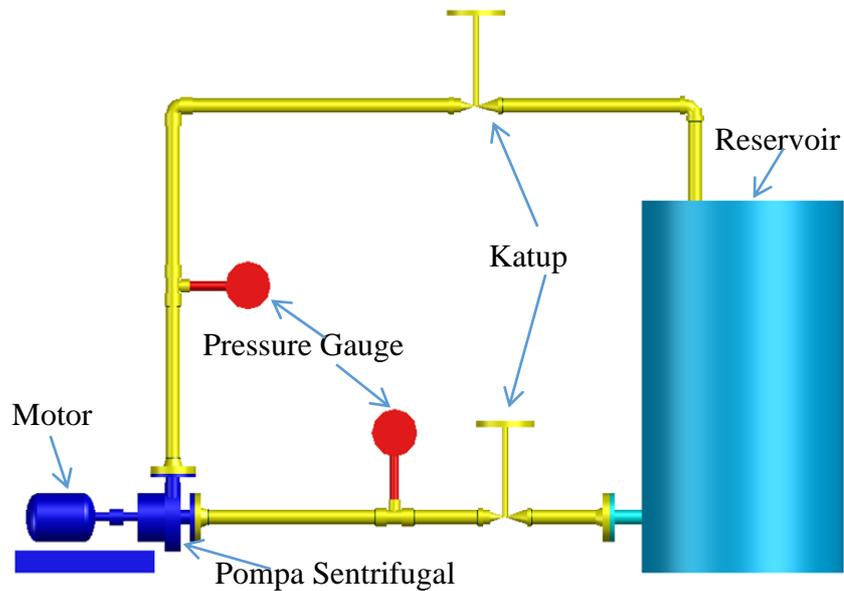
Item Sistem	Spesifikasi	Kuantitas	Letak
Bak air		1	Sisi Hisap
<i>Gate Valve Threaded 1"</i>	Diameter dalam 1/2"	1	Sisi Hisap
<i>PVC Male Threaded adaptor 1"</i>		4	Sisi Hisap
<i>PVC Female Threaded adaptor 1"</i>		1	Sisi Hisap
<i>PVC Union O-ring 1"</i>		1	Sisi Hisap
<i>Acrylic Pipe 1"</i>	ID=21mm; OD=24mm Panjang antara pompa dan <i>Union O-ring</i> L=800mm	1	Sisi Hisap
<i>PVC pipe 1"</i>		1	Sisi Hisap
<i>PVC Male Threaded Adaptor 1"</i>		1	Sisi <i>Discharge</i>
<i>Acrylic Pipe 1"</i>	ID=21mm; OD=24mm Panjang antara pompa dan <i>Union O-ring</i> L=800mm	1	Sisi <i>Discharge</i>
<i>PVC Socket 1"</i>		1	Sisi <i>Discharge</i>
<i>PVC Stop Valve 1"</i>		1	Sisi <i>Discharge</i>
<i>PVC Union O-ring 1"</i>		1	Sisi <i>Discharge</i>
Selang 1"		1	Sisi <i>Discharge</i>
<i>Clamp 1"</i>		2	Sisi <i>Discharge</i>

Tabel 3. 2 Komponen teknik dan pengukuran pada rig uji

Komponen	Type	Kuantitas	Letak
Pompa Sentrifugal	Dong Dong $Q_{max} = 40l/m$	1	
Motor Elektrik	Electron JY28-2; 0,75kW	1	
Pengukur Kecepatan	<i>Tachometer Proximity Probe</i>	1	<i>Pulley pompa</i>
Pengatur Kecepatan	<i>LSIs, SV008iC5-1; 3-phase; 0,75kW</i>	1	
Vacuum Gauge	Wiebrock 2" -75cmHg	1	Jalur <i>suction</i>
Pressure Gauge	Skala 0-90Psi	1	Jalur <i>discharge</i>
<i>Accelerometer</i>	Brüel & Kjær Type 4507 B	2	Inlet; volute
Data Akuisisi	National Instrument, NI 9234	1	
<i>Analyzer</i>	Matlab R2015a	1	PC



Gambar 3. 5 simulator atau rig uji



Gambar 3. 6 Skema diagram konstruksi rig uji.

3.4 Sistem Pengukuran (Instrumentasi)

Dalam melakukan pengukuran, diputuskan beberapa hal penting yang digunakan dalam instrumentasi pada rig uji, yaitu:

1. Pengukuran kecepatan operasi pompa menggunakan *tachometer proximity probe* dengan simultan magnetik.
2. Pengukuran tekanan menggunakan satu buah *vacuum gauge* pada sisi hisap (*suction*) pompa dan satu buah *pressure gauge* pada sisi keluar (*discharge*).
3. Getaran pada pompa diukur dengan menggunakan sebuah *accelerometer* buatan Brüel & Kjær tipe 4507 B yang diletakan pada *inlet* pompa dan pada *volute* pompa.
4. Pengaturan kecepatan motor listrik menggunakan inverter merk *LSIS* tipe SV008iC5-1 yang dihubungkan pada arus listrik AC 220V.

Pengukuran getaran pada pompa sentrifugal direkam secara rutin dengan masing-masing pengambilan sebanyak 30 data tiap bukaan katup dan kecepatan pada setiap *accelerometer* serta pencatatan tekanan yang dihasilkan dilakukan secara manual. Pada saat pengukuran, *accelerometer* akan menghasilkan keluaran voltase yang

terhubung pada akuisisi data dengan menggunakan kabel *coaxial BNC* dan dari data akuisisi terhubung pada computer yang berguna untuk menyimpan data.

Setiap *accelerometer* yang digunakan terhubung pada akuisisi data merek National Instrument, NI 9234 yang terpasang pada *chassis* NI cDAQ-9174. Data yang diolah dari akuisisi data disimpan pada komputer melalui jalur USB.

3.4.1 *Tachometer Proximity Probe*

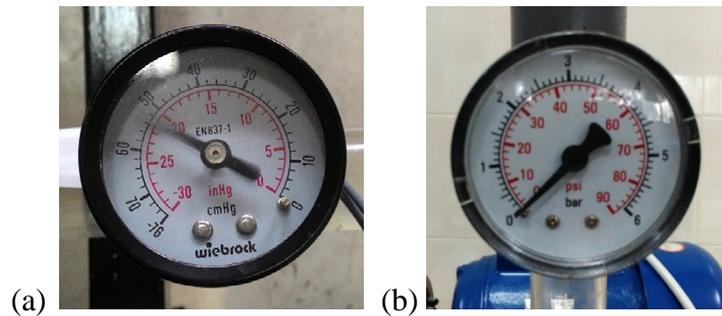
Dalam menentukan dan mengukur variasi kecepatan operasi pompa, digunakan sebuah tachometer dengan jenis sensor *proximity probe* dengan simultan magnetik seperti yang ada pada Gambar 3.7 dan nilai kecepatan yang didapat dari sensor ditampilkan pada panel LED.



Gambar 3. 7 *Tachometer Proximity Probe*

3.4.2 *Pressure Gauge* dan *Vacuum Gauge*

Pengukuran getaran dilakukan dengan menggunakan *Vacuum Gauge* pada jalur hisap (*suction*) pompa dan menggunakan *Pressure Gauge* pada jalur keluar (*discharge*) pompa. Data tekanan digunakan sebagai pelengkap diagnosis data statistik yang akan diolah. Pada Gambar 3.8 merupakan model pengukuran tekanan yang digunakan dan Tabel 3.3 merupakan spesifikasinya.



Gambar 3. 8 (a)Vacuum Gauge; (b)Pressure Gauge

Tabel 3. 3 Spesifikasi pengukuran tekanan

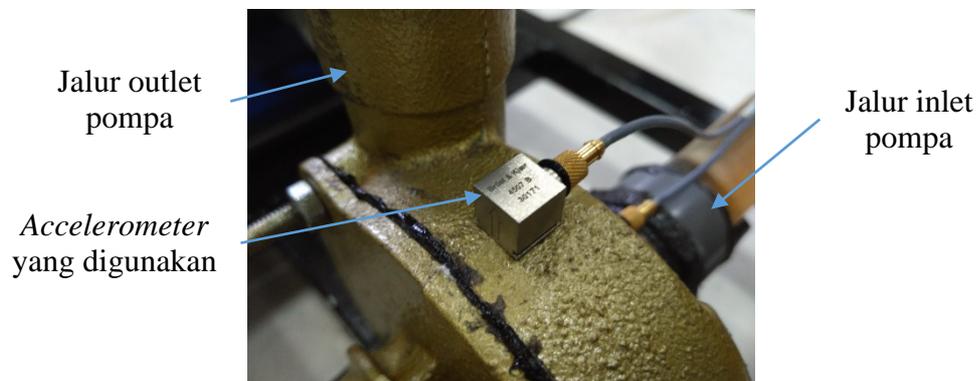
<i>Pressure Gauge</i>	
Diameter	3" × 1/2"
Skala Pengukuran	0-90Psi; 0-6bar
<i>Vacuum Gauge</i>	
Merk	Wiebrock
Diameter	2" × 1/2"
Skala Pengukuran	0-(-75)cmHg; 0-(-30)inHg

3.4.3 Accelerometer Transducer

Pengukuran getaran diambil dengan menggunakan sebuah *transducer* dengan jenis *piezoelectric accelerometer* pada *channel-1* dari akusisi data. Lokasi penempatan *accelerometer* diletakan pada volute pompa disisi samping sisi *outlet* pipa pompa seperti yang terlihat pada Gambar 3.10. Pengambilan data dimungkinkan dengan terhubungnya *accelerometer* pada akusisi data yang mana impuls yang dihasilkan oleh *accelerometer* diubah menjadi data digital dan disimpan pada komputer. Seperti yang terlihat pada Gambar 3.9 merupakan tipe *accelerometer* yang digunakan dan spesifikasi secara lengkap dijelaskan pada Lampiran 1.



Gambar 3. 9 *Accelerometer* tipe 4507 B seri 30171



Gambar 3. 10 Penempatan *accelerometer* pada *volute* pompa.

3.4.4 Pengatur Kecepatan

Pada motor elektrik yang digunakan untuk memutar pompa sentrifugal sebenarnya telah mempunyai kecepatan putar tetap pada 2800 RPM. Namun, untuk dapat mensimulasikan dan mendeteksi kavitas pada awal mulanya kondisi maka diperlukan pengaturan kecepatan. Pengaturan kecepatan seperti pada Gambar 3.11 menggunakan jenis inverter merek *LSIS*, SV008iC5-1; 3-phase; 0,75 kW. Pada inverter dengan jenis ini, operasi kerja yang dilakukan yaitu berdasarkan prinsip merubah suplai arus AC utama ke arus DC dan kemudian mengubahnya kembali menjadi arus AC sehingga dapat memberikan frekuensi yang sesuai dengan kebutuhan pompa dalam mengatur kecepatan operasinya (Thobiani *et al.*, 2011).



Gambar 3. 11 Inverter *LSIS*, SV008iC5-1

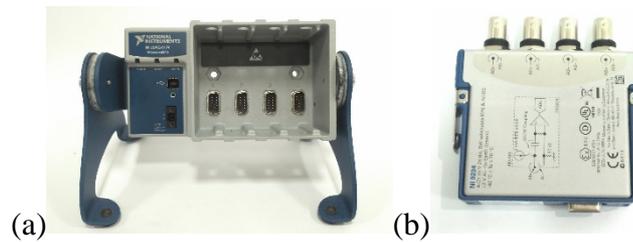
Kecepatan operasi pompa didapat dengan mengatur daya inverter yang terhubung pada motor elektrik dengan frekuensi maksimum pada 60 Hz dan membandingkan kecepatan putar yang terukur pada *tachometer*. Tabel 3.4 merupakan spesifikasi dari pengatur kecepatan.

Tabel 3. 4 Spesifikasi pengatur kecepatan

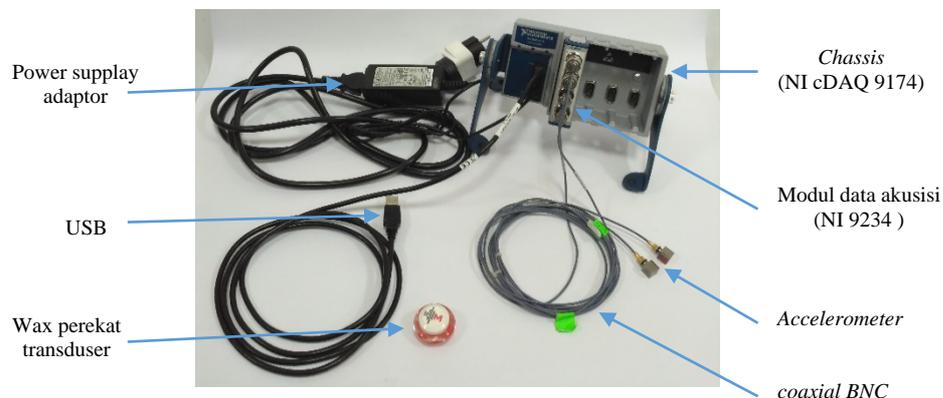
Manufaktur pengatur kecepatan	<i>LSIS</i>
Model	SV008iC5
Input daya	200-230 V 9.2 A; 1 Phase pada 50/60 Hz
Output daya	0-input V 5A; 3 Phase
Max. output frekuensi	400 Hz
Jangkauan pengaturan frekuensi	0,01 – 60 Hz

3.4.5 Akusisi Data (NI 9234)

Agar data yang terdeteksi dari *accelerometer* dapat disimpan maka diperlukan sebuah akusisi data yang berfungsi sebagai alat transfer data antara *accelerometer* dan media penyimpanan komputer. Pada Gambar 3.12 merupakan akusisi data yang digunakan, manufaktur oleh National Instrument tipe NI 9234 dengan 4 channel yang terhubung pada *chassis* NI cDAQ-9174. Gambar 3.13 merupakan rangkaian penggunaan pada akusisi data dan *accelerometer* serta komponennya. Spesifikasi NI 9234 secara detail ada pada Lampiran 2.



Gambar 3. 12 (a) Chassis NI cDAQ-9174; (b) Modul NI 9234 – 4 channel



Gambar 3. 13 Perangkat akuisisi data

3.4.6 Pompa Sentrifugal

Seperti pada Gambar 3.14, pompa sentrifugal radial merek Dong Dong dengan inlet horizontal, impeller terbuka *single stage* digunakan sebagai objek simulasi penelitian. Pompa ini dapat mengalirkan air dengan kecepatan aliran mencapai 40 l/min atau 2,4 m³/h pada head mencapai 53 m. Pompa sentrifugal digerakan oleh motor listrik dengan kecepatan maksimum 2800 RPM yang ditransmisikan oleh *pulley* dengan rasio 5:3 terhadap poros pompa. Detail dari pompa sentrifugal secara lengkap di jelaskan pada Tabel 3.5.



Gambar 3. 14 konstruksi pompa sentrifugal

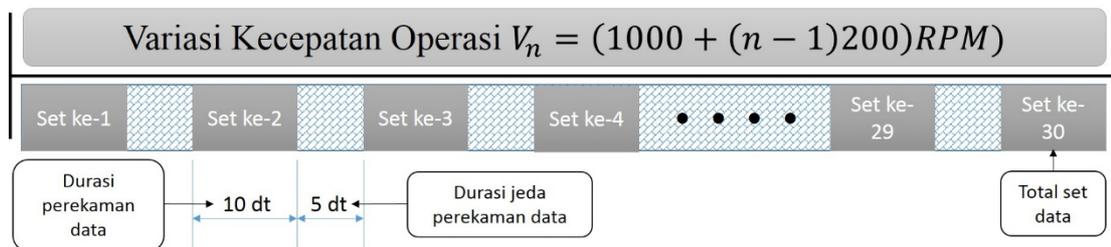
Tabel 3. 5 Spesifikasi pompa sentrifugal Dong Dong

Manufaktur pompa sentrifugal	<i>Dong Dong</i>
Tipe	Drag pump
Model	TB – 40 NEW
Kapasitas maksimum	40 l/min (2,4 m ³ /jam)
<i>Head discharge</i>	45 m
<i>Head Suction</i>	8 m
Jenis <i>impeller</i>	Terbuka
Jumlah tingkat	Satu
Koneksi	<i>Pulley</i> rasio 3:5

3.5 Model Rangkaian

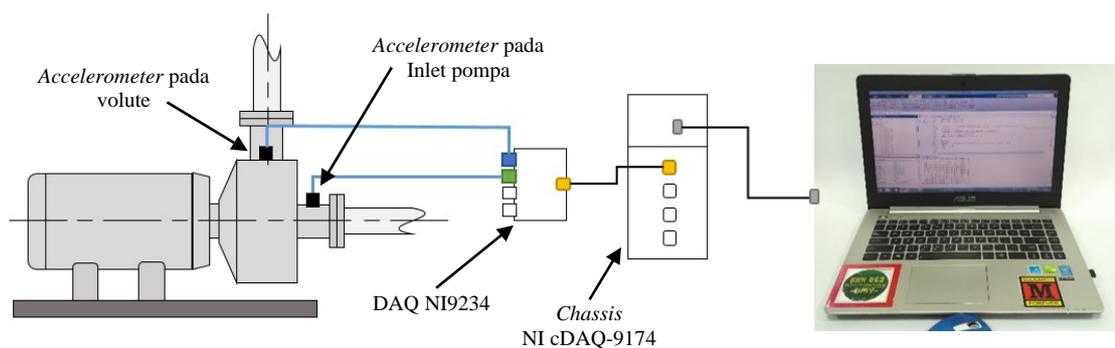
Pengukuran getaran dilakukan dengan memvariasikan kecepatan operasi dengan mengatur daya keluaran pada inverter. Agar kemunculan kavitasasi pada alat simulasi lebih terkontrol maka besar bukaan katup pada sisi *discharge* pompa divariasikan dengan besar bukaan penuh, setengah bukaan penuh, dan seperempat bukaan penuh. Uji coba terdiri dari sekurang-kurangnya 30 set data yang mencakup rentang n sama dengan 1-9 pengujian kecepatan dari 1000 RPM sampai 2600 RPM seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.15 skematik pengambilan data. Untuk

menghasilkan parameter statistik yang akurat maka setiap pengujian kecepatan diulang diulang untuk masing-masing bukaan katup hisap pompa.



Gambar 3. 15 Skematik pengambilan data

Adapun Gambar 3.16 merupakan skematik rangkaian pemasangan *accelerometer* dan akusisi data yang digunakan dalam merekam getaran pompa sentrifugal. Rekaman data yang didapat dari setiap proses akan diolah dan diproses pada program Matlab.



Gambar 3. 16 Skematik pemasangan akusisi data

Adapun data akusisi sebelum pengambilan data diatur pada *sampling rate* sebesar 17066 Hz untuk 10 detik. Segala pengaturan peralatan pada data akusisi diatur pada program Matlab. Data akusisi terhubung pada komputer melalui sebuah *software* NI MAX yang telah terintegrasi pada Matlab sehingga pengaturan data akusisi memungkinkan untuk dapat dilakukan.

3.6 Prosedur Pengambilan Data

Prosedur pengambilan data dilakukan setelah semua peralatan seperti *accelerometer*, data akusisi, komputer dan rig uji telah dipersiapkan pada tempatnya. Pemasangan *accelerometer* pada pompa sentrifugal menggunakan perekat berupa lilin (*wax*) yang disiapkan khusus untuk penggunaan pemasangan. Adapun langkah pengambilan data dijelaskan sebagai berikut:

1. Membuka software program Matlab dan NI MAX
2. Menyiapkan program akusisi data pada jendela editor dengan perintah seperti yang terlampir pada Lampiran 3.
3. Memastikan program perintah matlab telah diatur dengan *sampling rate* 17066Hz dan waktu perekaman 10 detik dengan jeda 5 detik untuk setiap pengambilan data.
4. Memastikan *accelerometer* terpasang dengan baik dan rigit pada pompa sentrifugal pada bagian volute dan inlet pompa.
5. Menghidupkan data akusisi dengan menyambungkan kabel daya pada arus listrik AC.
6. Memastikan data akusisi telah terdeteksi pada komputer dan *accelerometer* telah terbaca pada *software* NI MAX
7. Menghidupkan inveter atau pengatur kecepatan pompa dan memastikan semua katup pada rig uji telah terbuka.
8. Menghidupkan motor pompa dengan kecepatan operasi yang akan diukur dengan mengatur besar daya inverter dan menyesuaikan kecepatan yang didapat pada panel LED *tachometer*
9. Memastikan jalur perpipaan tidak terjadi kebocoran dan kecepatan pompa telah pada ukuran yang ditentukan.
10. Menjalankan program pada poin 2 dengan mengklik “Run” pada menu *toolbox* editor di Matlab.
11. Memastikan program berjalan dan memeriksa data apakah telah tersimpan pada komputer.

Setiap langkah akan diulang untuk setiap perubahan kecepatan operasi dan perubahan bukaan katup dimulai dari poin 3.

3.7 Model Analisis

Pengolahan data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan analisis parameter statistik domain waktu berbasis sinyal getaran, diantaranya *Peak Value*, *Root Mean Square (RMS)*, *Standard Deviation*, *Crest Factor*, *variance*, *kurtosis*, *Probability Density Function (PDF)* dan *Auto-Regressive Moving Average (ARMA)*. Dari data getaran yang telah disimpan pada komputer di olah menjadi parameter statistik menggunakan program MATLAB versi R2015a. Tabel 3.6 merupakan perintah yang digunakan pada parameter yang disebutkan sebelumnya.

Tabel 3. 6 Spesifikasi parameter statistik pada perintah MATLAB

Parameter	Perintah MATLAB	Rumus
Probability Density Function	pdf	Persamaan 2.4
Peak Value	$(\max(\text{abs}(x)) - (\min(\text{abs}(x))/2)$	Persamaan 2.6
Standar Deviation	std	Persamaan 2.7
Variance	var	Persamaan 2.8
Root Mean Square	rms	Persamaan 2.9
Crest Factor	peak2rms	Persamaan 2.10
Kurtosis	kurtosis	Persamaan 2.11

Selain menggunakan analisis domain waktu, diagnosis juga dilakukan dengan menggunakan analisis spektrum sebagai parameter pendukung diagnosis parameter statistik. Analisis spektrum yang digunakan menggunakan *Fast Fourier Transform (FFT)*.