

**KAJIAN EKSPERIMENTAL KAVITASI *IMPELLER* POMPA
BERBASIS CIRI KERUSAKAN GETARAN MESIN**

Tugas Akhir

Disusun sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Diploma IV

Oleh

Rizky Rahman Syabanil

221411038



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MANUFAKTUR
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul:

KAJIAN EKSPERIMENTAL KAVITASI *IMPELLER* POMPA BERBASIS CIRI KERUSAKAN GETARAN MESIN

Oleh

Rizky Rahman Syabanil

221411038

Telah direvisi, disetujui, dan disahkan sebagai Tugas Akhir penutup program
pendidikan Sarjana Terapan (Diploma IV)
Politeknik Manufaktur Bandung

Bandung, 05 Agustus 2025

Disetujui,

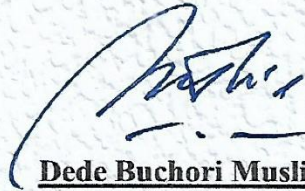
Pembimbing I

Pembimbing II

Pembimbing III



Dr. Herman Budi Harja,
S.T., M.T., IPM.
NIP. 197902022008101001



Dede Buchori Muslim,
Masch.Ing.HTL., M.T.
NIP. 196405241994031002



Dhion Khairul Nugraha,
S.T., M.T.
NIP. 199003102022031002

Disahkan,

Ketua Penguji

Anggota Penguji 1

Anggota Penguji 2



M. Ali Suparman,
Masch.Ing.HTL, M.T.
NIP. 196011011989031000



Okta Pianti Rahayu,
S.Tr.T., M.Sc.
NIP. 199510152025062012



Siti Hadiaty Yuningsih,
S.Si., M.Mat.
NIP. 199606212024062001

PERNYATAAN ORISINALITAS

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rizky Rahman Syabanil
NIM : 221411038
Jurusan : Teknik Manufaktur
Program Studi : Teknologi Rekayasa Manufaktur
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Kajian Eksperimental Kavitasasi *Impeller* Pompa Berbasis Ciri Kerusakan Getaran Mesin

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri (orisinal) atas bimbingan para Pembimbing.
2. Dalam tugas akhir ini tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri, dan/atau tidak terdapat bagian atau keseluruhan tulisan yang saya salin, tiru, atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis aslinya (referensi).
3. Bila kemudian terbukti bahwa saya melakukan tindakan yang bertentangan dengan hal tersebut di atas, baik disengaja atau tidak, saya bersedia menerima akibatnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 06 – 08 – 2025
Yang Menyatakan,



Rizky Rahman Syabanil
221411038

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rizky Rahman Syabanil
NIM : 221411038
Jurusan : Teknik Manufaktur
Program Studi : Teknologi Rekayasa Manufaktur
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Kajian Eksperimental Kavitasasi *Impeller* Pompa Berbasis Ciri Kerusakan Getaran Mesin

Menyatakan/menyetujui bahwa:

1. Segala bentuk Hak Kekayaan Intelektual terkait dengan tugas akhir tersebut menjadi milik Institusi Politeknik Manufaktur Bandung, yang selanjutnya pengelolaanya berada dibawah Jurusan dan Program Studi, dan diatur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Memberikan kepada Politeknik Manufaktur Bandung Hak Bebas Royalti Noneklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas hasil tugas akhir saya tersebut. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini, maka Politeknik Manufaktur Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama-nama Dosen Pembimbing dan nama saya sebagai anggota penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 06 – 08 – 2025
Yang Menyatakan,



Rizky Rahman Syabanil
221411038

MOTO PRIBADI

“Tidaklah menyenangkan jika kamu tidak mencoba pilihan lain saat kamu tau pilihan itu ada, dan sudah suatu kewajiban kalau kamu berfikir tidak bisa melakukannya sendirian, tapi sangat menyakitkan kalau orang lain mengatakan kalau kamu tidak bisa melakukannya” -Haikyuu.

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya, Mama dan Bapa yang sudah bekerja keras untuk selalu membantu dan mendukung penulis secara moral dan materil selama menjalani perkuliahan di Politeknik Manufaktur Bandung.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur senantiasa penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat, hidayah, serta nikmat yang tiada terhingga. Segala proses yang telah dilalui, dari awal penelitian hingga penyusunan Tugas Akhir ini, tidak terlepas dari kemudahan yang Allah berikan. Meskipun berbagai tantangan dan hambatan datang menghampiri, berkat izin dan ridho-Nya, penulis dapat terus berusaha dan menyelesaikan penelitian ini sesuai dengan tujuan yang diharapkan.

Berkat kasih sayang dan pertolongan-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Kajian Eksperimental Kavitasi *Impeller* Pompa Berbasis Ciri Kerusakan Getaran Mesin” dengan sebaik-baiknya.

Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan (Diploma IV) pada Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung.

Terselesainya Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak. Pada kesempatan ini, dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan petunjuk, arahan, dan bantuan, baik secara moral maupun material, baik secara langsung maupun tidak langsung hingga penyusunan Tugas Akhir ini selesai, terutama kepada yang terhormat:

- 1) Kepada yang saya cintai dan sayangi kedua Orang Tua penulis Ibu Samra Liza dan Bapak Alfian yang selalu mendoakan, memberikan motivasi, hingga pengorbanannya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya.
- 2) Direktur Politeknik Manufaktur Bandung, Bapak Darma Firmansyah U., S.ST., M.T.
- 3) Ketua Jurusan Teknik Manufaktur sekaligus Pembimbing 1 Tugas Akhir penulis, Bapak Dr. Herman Budi Harja, S.T., M.T., IPM.
- 4) Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Bapak Dr. Heri Setiawan, S.T., M.T.
- 5) Para Pembimbing 2 dan 3 Tugas Akhir Bapak Bapak Dede Buchori Muslim, Masch.Ing.HTL.,M.T., dan Bapak Dhion Khairul Nugraha, S.T., M.T.

- 6) Kepada para penguji Bapak M. Ali Suparman, Masch.Ing.HTL., M.T., Ibu Okta Pianti Rahayu, S.Tr.T., M.Sc., dan Ibu Siti Hadiaty Yuningsih, S.Si., M.Mat.
- 7) Panitia Tugas Akhir jenjang studi Diploma IV Jurusan Teknik Manufaktur.
- 8) Kepada Bapak Uli Wikanda, S.ST dan Bapak Husein Haikal, S.Tr.T yang sudah membimbing secara teknis kepada penulis saat melaksanakan TA.
- 9) Untuk kedua kakak saya Melviarozza dan Risa Fitriani, yang telah memberikan dukungan penuh kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya.
- 10) Kepada Veriezka Arisyanti yang telah membantu dan memberikan dukungan kepada penulis.
- 11) Kepada kelompok praktik ‘Marga R’ yaitu Rasyid Wicaksono Susanto, Rizky Maulana Efendi, dan Ryan Haryo Yudoyono atas seluruh kerja sama, kerja keras, bantuan, ilmu yang telah diberikan dan dilalui bersama-sama selama masa perkuliahan di Politeknik Manufaktur Bandung.
- 12) Kepada teman-teman Program Studi TRM 21 dan kelas 4MEE yang telah menjadi bagian dari perjalanan ini dan penulis anggap seperti keluarga.
- 13) Kepada rekan satu tim TA/PA yaitu Naufal Fathin Wibowo dan Fildzi Dafina Fathin yang membersamai penulis selama menjalani TA/PA ini.

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua.

Bandung, 27 Juli 2025

Penulis



Rizky Rahman Syabanil

221411038

ABSTRAK

Pompa sentrifugal merupakan mesin yang berfungsi untuk memindahkan fluida melalui prinsip konversi energi mekanik menjadi energi kinetik dan tekanan. Salah satu komponen utama dan paling krusial pada pompa sentrifugal yaitu *impeller* yang berfungsi untuk merubah energi mekanik putaran menjadi energi kinetik dan tekanan fluida. Namun, pada operasinya terdapat permasalahan utama yang dapat terjadi pada *impeller* yaitu fenomena kavitasi. Kavitasi merupakan fenomena dimana terbentuknya dan runtuhnya (*collapse*) gelembung uap akibat turunnya tekanan lokal dibawah tekanan uap jenuh air yang dapat menyebabkan kerusakan serius pada *impeller*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh parameter operasi terhadap gejala kavitasi berdasarkan ciri pola kerusakan getaran mesin akibat kavitasi. Parameter yang diuji meliputi variasi jumlah sudu *impeller* yaitu sebanyak 3, 5, 6, 7, 8, dan 9, operasi RPM berdasarkan frekuensi yaitu 40 Hz, 50 Hz, dan 60 Hz, bukaan katup pengatur debit air yaitu 1/4, 1/2, dan 1, dan suhu air yang dipanaskan dan bervariasi yaitu 23,2°C, 40°C, dan 60°C. Proses pengujian menggunakan metode Taguchi *orthogonal array* $L_9(3^3)$ dengan karakteristik kualitas *larger-the better* dimana variasi jumlah sudu *impeller* menjadi *blocking* faktor dan tiga parameter lainnya di kombinasikan sesuai dengan Taguchi *orthogonal array* $L_9(3^3)$. Respon pengujian yang diamati yaitu *random high frequency* dari spektrum getaran untuk melihat intensitas terjadinya kavitasi. Hasil yang didapatkan berdasarkan analisa Taguchi menunjukkan bahwa peningkatan RPM, penurunan bukaan katup, dan suhu air yang tinggi menjadi parameter kombinasi dengan intensitas kavitasi yang tinggi. Variasi jumlah sudu *impeller* menunjukkan bahwa penambahan jumlah sudu secara konsisten meningkatkan intensitas *random high frequency* pada spektrum getaran, yang mengindikasikan kecenderungan kavitasi yang lebih kuat. Penelitian ini menunjukkan bahwa karakteristik getaran, khususnya *random high frequency* dapat digunakan sebagai indikator untuk mendeteksi kavitasi secara dini.

Kata kunci: Pompa Sentrifugal, Kavitasi Getaran Mesin, *Random High Frequency*, Metode Taguchi.

ABSTRACT

Centrifugal pump is a machine that functions to transfer fluid through the principle of converting mechanical energy into kinetic energy and pressure. One of the main and most crucial components of a centrifugal pump is the impeller, which serves to convert rotational mechanical energy into the fluid's kinetic energy and pressure. However, during its operation, a major problem that can occur in the impeller is the phenomenon of cavitation. Cavitation is a phenomenon where vapor bubbles form and collapse due to a drop in local pressure below the fluid's saturated vapor pressure, which can cause serious damage to the impeller. This study aims to analyze the effect of operating parameters on cavitation symptoms based on the vibration pattern characteristics of machine damage caused by cavitation. The parameters tested include variations in the number of impeller blades, namely 3, 5, 6, 7, 8, and 9; operating RPM based on frequency, namely 40 Hz, 50 Hz, and 60 Hz; valve openings for regulating water flow, namely 1/4, 1/2, and 1; and water temperature which is heated and varied at 23.2°C, 40°C, and 60°C. The testing process uses the Taguchi orthogonal array L9(3³) method with the larger-the-better quality characteristic, where variations in the number of impeller blades are treated as a blocking factor and the other three parameters are combined according to the Taguchi orthogonal array L9(3³). The observed response is the random high frequency from the vibration spectrum to assess the intensity of cavitation. The results obtained based on Taguchi analysis show that increased RPM, reduced valve opening, and higher water temperature are parameter combinations with high cavitation intensity. Variations in the number of impeller blades show that an increase in blade count consistently increases the intensity of random high frequency in the vibration spectrum, indicating a stronger tendency toward cavitation. This study shows that vibration characteristics, particularly random high frequency, can be used as an indicator for early detection of cavitation.

Keywords: *Centrifugal Pump, Cavitation, Machine Vibration, Random High Frequency, Taguchi Method.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)	iii
MOTO PRIBADI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xix
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Rumusan Masalah	I-4
I.3 Batasan Masalah.....	I-4
I.4 Tujuan dan Manfaat	I-5
I.5 Sistematika Penulisan	I-5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	II-1
II.1 Tinjauan Teori.....	II-1
II.1.1 Pompa.....	II-1
II.1.2 Klasifikasi Pompa	II-2
II.1.3 Pompa Sentrifugal	II-3
II.1.4 <i>Impeller</i> Pompa Sentrifugal	II-5
II.1.5 Kavitasi.....	II-7
II.1.6 Tahapan <i>Collapse</i> Gelembung Kavitasi	II-9
II.1.7 Parameter-Parameter Pemicu Kavitasi Pada Pompa Sentrifugal ...	II-10
II.1.8 <i>Triangle Velocity</i> (Segitiga Kecepatan)	II-12
II.1.9 Getaran	II-14
II.1.10 <i>Machine Vibration Monitoring Techinques</i>	II-15
II.1.11 Ciri Pola Spektrum Getaran Akibat Kavitasi	II-17
II.1.12 <i>Reverse Engineering</i>	II-18
II.1.13 <i>3D Scanning</i>	II-19
II.1.14 <i>Design of Experiment</i> (DoE).....	II-20

II.1.15	Metode Taguchi.....	II-20
II.1.16	<i>Analysis of Variance</i> (ANOVA)	II-24
II.1.17	Regresi Linear	II-24
II.2	Tinjauan Alat.....	II-25
II.2.1	Rig Tes Pompa	II-26
II.2.2	Pompa Sentrifugal ShowFou CV-132.....	II-26
II.2.3	<i>Variable Frequency Driver</i> (VFD)	II-27
II.2.4	<i>Vibration Analyzer</i> VIBXpert	II-28
II.2.5	Omnitrend.....	II-31
II.2.6	MetraSCAN 750 Elite	II-32
II.2.7	VXelement	II-34
II.3	Studi Penelitian Terdahulu.....	II-36
BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH		III-1
III.1	Metode Penelitian.....	III-1
III.2	Diagram Alir Penelitian	III-1
III.3	Rancangan Penelitian	III-2
III.3.1.	Pemilihan Karakteristik Penelitian.....	III-3
III.3.2.	Pemilihan Faktor	III-3
III.3.3.	Pemilihan Level Pada Setiap Faktor	III-3
III.4	Menentukan <i>Orthogonal Array</i>	III-4
III.4.1.	Penentuan Derajat Kebebasan (<i>Degree of Freedom</i>).....	III-4
III.4.2.	Penentuan <i>Orthogonal Array</i> Penelitian	III-5
III.4.3.	<i>Orthogonal Array</i> Penelitian.....	III-5
III.5	Pelaksanaan Eksperimen	III-8
III.5.1.	Perancangan <i>Impeller</i> Menggunakan Metode <i>Reverse Engineering</i> III-8	
III.5.2.	Proses 3D <i>Scanning Impeller</i>	III-10
III.5.3.	Desain 3D <i>Modelling</i> dan <i>Engineering Drawing Impeller</i>	III-10
III.5.4.	Proses Pembuatan Sampel Pengujian.....	III-11
III.5.5.	Pengaturan Kondisi Pengujian	III-12
III.5.6.	Posisi Pengukuran Getaran Kavitasasi	III-14
III.6	Pengolahan dan Analisa Data.....	III-16
III.6.1.	Proses Pengambilan Data	III-16
III.6.2.	Pengolahan Data Menggunakan Metode Taguchi	III-17
III.6.3.	Pengolahan Data <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA)	III-18
III.6.4.	Analisis Regresi dan Formulasi Terhadap Kavitasasi.....	III-19

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	IV-1
IV.1 Perhitungan Segitiga Kecepatan	IV-1
IV.2 Analisa Spektrum Getaran Akibat Kavitasi	IV-9
IV.2.1. Respon Pada Setiap <i>Impeller</i>	IV-9
IV.2.2. Mengidentifikasi Ciri Pola Spektrum Getaran	IV-15
IV.2.3. Interpretasi Hasil Analisa Spektrum	IV-20
IV.3 Analisa Metode Taguchi Terhadap Kavitasi	IV-20
IV.3.1. Analisa Pada <i>Impeller</i> Sudu 3	IV-20
IV.3.2. Analisa Pada <i>Impeller</i> Sudu 5	IV-24
IV.3.3. Analisa Pada <i>Impeller</i> Sudu 6	IV-26
IV.3.4. Analisa Pada <i>Impeller</i> Sudu 7	IV-28
IV.3.5. Analisa Pada <i>Impeller</i> Sudu 8	IV-30
IV.3.6. Analisa Pada <i>Impeller</i> Sudu 9	IV-32
IV.4 <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) Terhadap Respon RHF (Kavitasi)	IV-34
IV.4.1. <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) Pada <i>Impeller</i> Sudu 3	IV-34
IV.4.2. <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) Pada <i>Impeller</i> Sudu 5	IV-36
IV.4.3. <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) Pada <i>Impeller</i> Sudu 6	IV-37
IV.4.4. <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) Pada <i>Impeller</i> Sudu 7	IV-38
IV.4.5. <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) Pada <i>Impeller</i> Sudu 8	IV-40
IV.4.6. <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) Pada <i>Impeller</i> Sudu 9	IV-41
IV.5 Analisis Regresi dan Formulasi Terhadap Respon Kavitasi	IV-42
IV.5.1. Formulasi Pada Hasil Pengujian <i>Impeller</i> Sudu 3	IV-43
IV.5.2. Formulasi Pada Hasil Pengujian <i>Impeller</i> Sudu 5	IV-46
IV.5.3. Formulasi Pada Hasil Pengujian <i>Impeller</i> Sudu 6	IV-49
IV.5.4. Formulasi Pada Hasil Pengujian <i>Impeller</i> Sudu 7	IV-52
IV.5.5. Formulasi Pada Hasil Pengujian <i>Impeller</i> Sudu 8	IV-54
IV.5.6. Formulasi Pada Hasil Pengujian <i>Impeller</i> Sudu 9	IV-57
IV.6 Observasi Visual Gelembung Kavitasi	IV-60
IV.6.1. Pengamatan Visual Non-Kavitasi	IV-60
IV.6.2. Pengamatan Visual Kavitasi	IV-61
BAB V PENUTUP	V-1
V.1 Kesimpulan	V-1
V.2 Saran	V-2
DAFTAR PUSTAKA	xxi
LAMPIRAN	xxiv

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Daftar komponen pompa sentrifugal.....	II-5
Tabel II. 2 Tabel tekanan penguapan air [10].	II-11
Tabel II. 3 Spesifikasi pompa sentrifugal ShowFou CV-132 [32].....	II-26
Tabel II. 4 Spesifikasi teknis sistem pelacak optik C-Track [35].	II-33
Tabel II. 5 Spesifikasi teknis <i>scanner</i> [35].....	II-34
Tabel II. 6 Fungsi sub modul akusisi.	II-35
Tabel II. 7 Fungsi sub modul aplikasi.....	II-35
Tabel II. 8 Studi penelitian terdahulu.....	II-36
Tabel III. 1 Level pada <i>blocking factor</i>	III-4
Tabel III. 2 Level pada setiap faktor.	III-4
Tabel III. 3 Matriks <i>orthogonal array</i> $L_9(3^3)$,.....	III-5
Tabel III. 4 <i>Orthogonal array</i> jumlah sudu 3.	III-6
Tabel III. 5 <i>Orthogonal array</i> jumlah sudu 5.	III-6
Tabel III. 6 <i>Orthogonal array</i> jumlah sudu 6.	III-7
Tabel III. 7 <i>Orthogonal array</i> jumlah sudu 7.	III-7
Tabel III. 8 <i>Orthogonal array</i> jumlah sudu 8.	III-7
Tabel III. 9 <i>Orthogonal array</i> jumlah sudu 9.	III-8
Tabel III. 10 Skala klasifikasi RHF.....	III-16
Tabel III. 11 Permasalahan yang terjadi pada pompa ketikan kavitasi [37]. ...	III-17
Tabel III. 12 Contoh pengisian data nilai <i>S/N ratio</i>	III-18
Tabel III. 13 Contoh pengisian data <i>main effect</i>	III-18
Tabel III. 14 Tabel pengisian data ANOVA.	III-19
Tabel III. 15 Contoh tabel pengisian tabel <i>factor coding</i>	III-19
Tabel III. 16 Contoh tabel pengisian nilai koefisien pada setiap level dan faktor.	III-20
Tabel IV. 1 Identifikasi aran dan besaran kecepatan.	IV-2
Tabel IV. 2 Respon pada <i>impeller</i> sudu 3.	IV-9
Tabel IV. 3 Respon pada <i>impeller</i> sudu 5.	IV-10
Tabel IV. 4 Respon pada <i>impeller</i> sudu 6.	IV-11
Tabel IV. 5 Respon pada <i>impeller</i> sudu 7.	IV-12
Tabel IV. 6 Respon pada <i>impeller</i> sudu 8.	IV-13

Tabel IV. 7 Respon pada <i>impeller</i> sudu 9.	IV-14
Tabel IV. 8 Respon hasil pengukuran <i>impeller</i> sudu 3.	IV-20
Tabel IV. 9 Hasil perhitungan S/N <i>ratio impeller</i> sudu 3.	IV-21
Tabel IV. 10 Data <i>main effect impeller</i> sudu 3.	IV-22
Tabel IV. 11 Respon hasil pengukuran <i>impeller</i> sudu 5.	IV-24
Tabel IV. 12 Hasil perhitungan S/N <i>ratio impeller</i> sudu 5.	IV-24
Tabel IV. 13 Data <i>main effect impeller</i> sudu 5.	IV-25
Tabel IV. 14 Respon hasil pengukuran <i>impeller</i> sudu 6.	IV-26
Tabel IV. 15 Hasil perhitungan S/N <i>ratio impeller</i> sudu 6.	IV-26
Tabel IV. 16 Data <i>main effect impeller</i> sudu 6.	IV-27
Tabel IV. 17 Respon hasil pengukuran <i>impeller</i> sudu 7.	IV-28
Tabel IV. 18 Hasil perhitungan S/N <i>ratio impeller</i> sudu 7.	IV-28
Tabel IV. 19 Data <i>main effect impeller</i> sudu 7.	IV-29
Tabel IV. 20 Respon hasil pengukuran <i>impeller</i> sudu 8.	IV-30
Tabel IV. 21 Hasil perhitungan S/N <i>ratio impeller</i> sudu 8.	IV-30
Tabel IV. 22 Data <i>main effect impeller</i> sudu 8.	IV-31
Tabel IV. 23 Respon hasil pengukuran <i>impeller</i> sudu 9.	IV-32
Tabel IV. 24 Hasil perhitungan S/N <i>ratio impeller</i> sudu 9.	IV-32
Tabel IV. 25 Data <i>main effect impeller</i> sudu 9.	IV-33
Tabel IV. 26 Hasil perhitungan ANOVA pada <i>impeller</i> sudu 3.	IV-35
Tabel IV. 27 Hasil perhitungan ANOVA pada <i>impeller</i> sudu 5.	IV-36
Tabel IV. 28 Hasil perhitungan ANOVA pada <i>impeller</i> sudu 6.	IV-38
Tabel IV. 29 Hasil perhitungan ANOVA pada <i>impeller</i> sudu 7.	IV-39
Tabel IV. 30 Hasil perhitungan ANOVA pada <i>impeller</i> sudu 8.	IV-41
Tabel IV. 31 Hasil perhitungan ANOVA pada <i>impeller</i> sudu 9.	IV-42
Tabel IV. 32 Pengkodean faktor <i>impeller</i> sudu 3.	IV-43
Tabel IV. 33 Nilai koefisien setiap level pada faktor.	IV-44
Tabel IV. 34 Tabel interpretasi nilai koefisien <i>impeller</i> sudu 3.	IV-44
Tabel IV. 35 Pengkodean faktor <i>impeller</i> sudu 5.	IV-46
Tabel IV. 36 Nilai koefisien setiap level pada faktor.	IV-47
Tabel IV. 37 Tabel interpretasi nilai koefisien <i>impeller</i> sudu 5.	IV-47
Tabel IV. 38 Pengkodean faktor <i>impeller</i> sudu 6.	IV-49

Tabel IV. 39 Nilai koefisien setiap level pada faktor.....	IV-49
Tabel IV. 40 Tabel interpretasi nilai koefisien <i>impeller</i> sudu 6.....	IV-50
Tabel IV. 41 Pengkodean faktor <i>impeller</i> sudu 7.	IV-52
Tabel IV. 42 Nilai koefisien setiap level pada faktor.....	IV-52
Tabel IV. 43 Tabel interpretasi nilai koefisien <i>impeller</i> sudu 7.....	IV-53
Tabel IV. 44 Pengkodean faktor <i>impeller</i> sudu 8.	IV-54
Tabel IV. 45 Nilai koefisien setiap level pada faktor.....	IV-55
Tabel IV. 46 Tabel interpretasi nilai koefisien <i>impeller</i> sudu 8.....	IV-56
Tabel IV. 47 Pengkodean faktor <i>impeller</i> sudu 9.	IV-57
Tabel IV. 48 Nilai koefisien setiap level pada faktor.....	IV-58
Tabel IV. 49 Tabel interpretasi nilai koefisien <i>impeller</i> sudu 9.....	IV-58

DAFTAR GAMBAR

Gambar I. 1 Kavitasi pada pompa sentrifugal [6].	I-2
Gambar I. 2 Erosi dan lubang pada sudu <i>impeller</i> akibat kavitasi [6].	I-2
Gambar II. 1 Instalasi pompa [11].	II-1
Gambar II. 2 Prinsip konversi energi pada pompa [10].	II-2
Gambar II. 3 Klasifikasi pompa [10].	II-3
Gambar II. 4 Skema umum pompa sentrifugal [12].	II-4
Gambar II. 5 Komponen-komponen pompa sentrifugal [13].	II-4
Gambar II. 6 <i>Open impeller</i> .	II-6
Gambar II. 7 <i>Semi-open impeller</i> .	II-6
Gambar II. 8 <i>Closed impeller</i> .	II-7
Gambar II. 9 Grafik tekanan penguapan air pada <i>impeller</i> [16].	II-7
Gambar II. 10 Gelembung akibat kavitasi pada <i>impeller</i> [16].	II-8
Gambar II. 11 Erosi dan lubang akibat kavitasi pada <i>impeller</i> .	II-8
Gambar II. 12 Tahapan <i>collapse</i> gelembung akibat kavitasi [15].	II-9
Gambar II. 13 Tahapan <i>collapse</i> gelembung jika dilihat pada mikroskop [15].	II-10
Gambar II. 14 Diagram segitiga kecepatan [20].	II-12
Gambar II. 15 Ilustrasi getaran pada pegas.	II-15
Gambar II. 16 Teknik pemanauan getaran mesin [23].	II-16
Gambar II. 17 <i>Time Domain</i> [23].	II-16
Gambar II. 18 <i>Frequency domain</i> [23].	II-17
Gambar II. 19 <i>Quefreny domain</i> [23].	II-17
Gambar II. 20 Ciri pola spektrum getaran akibat kavitasi [24].	II-18
Gambar II. 21 Tahapan umum <i>reverse engineering</i> [25].	II-19
Gambar II. 22 Proses 3D <i>scanning</i> [27].	II-19
Gambar II. 23 Tujuan proses 3D <i>scanning</i> [27].	II-19
Gambar II. 24 Grafik <i>smaller-the better</i> [28].	II-22
Gambar II. 25 Grafik <i>nominal-the best</i> [28].	II-23
Gambar II. 26 Grafik <i>larger-the better</i> [29].	II-23
Gambar II. 27 Rig Tes Pompa.	II-26
Gambar II. 28 Pompa sentrifugal ShowFou CV-132.	II-26

Gambar II. 29 <i>Variable Frequency Driver</i>	II-27
Gambar II. 30 Prinsip kerja VFD.	II-27
Gambar II. 31 <i>Vibration analyzer</i> VIBXpert.	II-28
Gambar II. 32 Fungsi tombol VIBXpert [34].	II-28
Gambar II. 33 Fungsi tombol dan input pada VIBXpert [34].	II-29
Gambar II. 34 <i>Transducer</i>	II-29
Gambar II. 35 <i>Tachometer</i>	II-30
Gambar II. 36 Kabel sensor <i>tachometer</i>	II-30
Gambar II. 37 Kabel komunikasi.	II-31
Gambar II. 38 Omnitrend.	II-31
Gambar II. 39 <i>Interface</i> dari omnitrend.	II-32
Gambar II. 40 MetraSCAN 750 Elite.	II-32
Gambar II. 41 <i>Measurement Volume Data</i> [35].	II-33
Gambar II. 42 <i>Scanning area</i> dan <i>scanning distance</i> [35].	II-33
Gambar II. 43 VXelement.	II-34
Gambar II. 44 VXelement <i>interface</i>	II-36
Gambar III. 1 Diagram alir penelitian.	III-2
Gambar III. 2 Diagram alir <i>reverse engineering impeller</i> ShowFou CV-132.	III-10
Gambar III. 3 Contoh 3D <i>modelling</i> sampel <i>semi-open impeller</i>	III-11
Gambar III. 4 Proses pembubutan.	III-11
Gambar III. 5 Proses CNC <i>milling 3 axis</i>	III-11
Gambar III. 6 <i>Layout</i> Pengujian kavitasi.	III-12
Gambar III. 7 Pengaturan frekuensi pada VFD.	III-12
Gambar III. 8 Pengaturan variasi bukaan katup.	III-13
Gambar III. 9 Pengaturan suhu air.	III-13
Gambar III. 10 Pengecekan suhu air menggunakan <i>thermometer</i>	III-14
Gambar III. 11 Contoh pemasangan sampel <i>semi-open impeller</i>	III-14
Gambar III. 12 Posisi radial horizontal (R1).	III-15
Gambar III. 13 Posisi radial vertikal (R2).	III-15
Gambar III. 14 Posisi aksial (A).	III-15
Gambar III. 15 Pengukuran RPM.	III-15
Gambar IV. 1 Penggambaran u_1 pada <i>inlet impeller</i>	IV-2

Gambar IV. 2 Penggambaran v_1 pada <i>inlet impeller</i> .	IV-3
Gambar IV. 3 Penggambaran w_1 pada <i>inlet impeller</i> .	IV-3
Gambar IV. 4 Memindahkan garis kecepatan w_1 terhadap kecepatan u_1 .	IV-4
Gambar IV. 5 Segitiga kecepatan pada <i>inlet impeller</i> .	IV-4
Gambar IV. 6 Pengukuran v_1 .	IV-5
Gambar IV. 7 Pengukuran w_1 .	IV-5
Gambar IV. 8 Penggambaran u_2 (a), v_{r2} dan v_{t2} (b).	IV-7
Gambar IV. 9 Penggambaran v_2 (a) dan pengukuran besaran v_2 (b).	IV-7
Gambar IV. 10 Penggambaran w_2 .	IV-8
Gambar IV. 11 Pengukuran w_2 .	IV-8
Gambar IV. 12 Diagram segitiga kecepatan.	IV-9
Gambar IV. 13 Ciri pola spektrum getaran yang tidak terindikasi kavitasi.	IV-16
Gambar IV. 14 Ciri pola spektrum getaran terindikasi kavitasi ringan.	IV-17
Gambar IV. 15 Ciri pola spektrum getaran terindikasi kavitasi ringan.	IV-18
Gambar IV. 16 Ciri pola spektrum getaran terindikasi kavitasi.	IV-18
Gambar IV. 17 Ciri pola spektrum getaran terindikasi.	IV-19
Gambar IV. 18 Grafik <i>main effect plot</i> terhadap respon RHF pada <i>impeller</i> sudu 3.	IV-23
Gambar IV. 19 Grafik <i>main effect plot</i> terhadap respon RHF pada <i>impeller</i> sudu 5.	IV-25
Gambar IV. 20 Grafik <i>main effect plot</i> terhadap respon RHF pada <i>impeller</i> sudu 6.	IV-27
Gambar IV. 21 Grafik <i>main effect plot</i> terhadap respon RHF pada <i>impeller</i> sudu 7.	IV-29
Gambar IV. 22 Grafik <i>main effect plot</i> terhadap respon RHF pada <i>impeller</i> sudu 8.	IV-31
Gambar IV. 23 Grafik <i>main effect plot</i> terhadap respon RHF pada <i>impeller</i> sudu 9.	IV-33
Gambar IV. 24 Hasil uji normalitas data pada <i>impeller</i> sudu 3.	IV-34
Gambar IV. 25 Hasil uji normalitas data pada <i>impeller</i> sudu 5.	IV-36
Gambar IV. 26 Hasil uji normalitas data pada <i>impeller</i> sudu 6.	IV-37
Gambar IV. 27 Hasil uji normalitas data pada <i>impeller</i> sudu 7.	IV-39

Gambar IV. 28 Hasil uji normalitas data pada <i>impeller</i> sudu 8.	IV-40
Gambar IV. 29 Hasil uji normalitas data pada <i>impeller</i> sudu 9.	IV-41
Gambar IV. 30 Observasi dan <i>QR Code</i> (video) visual kondisi non-kavitasi....	IV-61
Gambar IV. 31 Observasi dan <i>QR Code</i> (video) visual kondisi kavitasi.	IV-61

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Tahapan Proses 3D *Scanning*

LAMPIRAN 2 *Engineering Drawing* Sampel *Semi-Open Impeller*

LAMPIRAN 3 Spektrum Getaran Hasil Pengujian

LAMPIRAN 4 Data RPM Setiap *Run* Pengujian

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

ω	= Kecepatan sudut <i>impeller</i> (rad/s).
u_1	= Kecepatan tangensial fluida pada <i>inlet impeller</i> .
u_2	= Kecepatan tangensial fluida pada <i>outlet impeller</i> .
v_1	= Kecepatan absolut fluida pada <i>inlet impeller</i> .
v_2	= Kecepatan absolut fluida pada <i>outlet impeller</i> .
vr_2	= Proyeksi kecepatan absolut fluida arah radial pada <i>outlet impeller</i> .
vt_2	= Proyeksi kecepatan absolut fluida arah tangensial pada <i>outlet impeller</i> .
w_1	= Kecepatan relatif fluida terhadap sudu pada <i>inlet impeller</i> .
w_2	= Kecepatan relatif fluida terhadap sudu pada <i>outlet impeller</i> .
β_1	= Sudut masuk relatif fluida terhadap sudu <i>impeller</i> pada bagian <i>inlet</i> .
β_2	= Sudut masuk relatif fluida terhadap sudu <i>impeller</i> pada bagian <i>outlet</i> .
r_1	= Radius <i>inlet impeller</i> .
r_2	= Radius <i>outlet impeller</i> .
$1x$	= Frekuensi dasar putaran.
BPF	= <i>Blade Pass Frequency</i>
RHF	= <i>Random High Frequency</i>
RPM	= <i>Rotation Per Minute</i>
VFD	= <i>Variable Frequency Driver</i>
S/N Ratio	= <i>Signal-to Noise Ratio</i>
Y	= Respon prediksi RHF.
ANOVA	= <i>Analysis of Variance</i>
β_0	= Koefisien <i>intercept</i> .
$\beta_1 X_1$	= Koefisien pada level 1 faktor RPM.
$\beta_2 X_2$	= Koefisien pada level 2 faktor RPM
$\beta_3 X_3$	= Koefisien pada level 3 faktor RPM.
$\beta_n X_n$	= Koefisien pada level n faktor bukaan katup dan suhu air.

BAB I

PENDAHULUAN

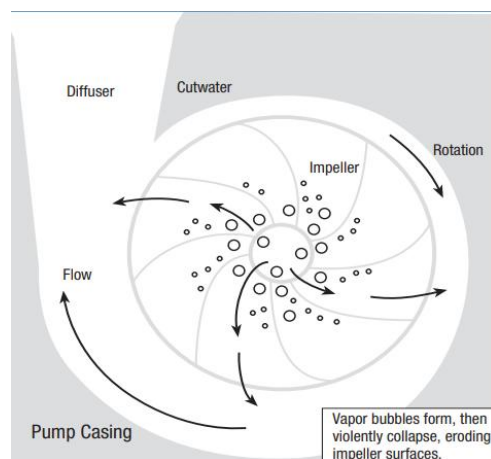
I.1 Latar Belakang

Pompa merupakan peralatan yang sangat penting dan krusial di berbagai sektor industri, terutama pada industri minyak dan gas, pengolahan air, serta manufaktur. Pompa adalah sebuah mesin yang berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi kinetik. Energi mekanik yang diberikan oleh pompa kepada fluida digunakan untuk meningkatkan tekanan dalam sistem atau saluran instalasi pompa [1]. Pompa juga termasuk dalam kategori mesin aliran fluida yang berperan dalam memindahkan fluida dari satu lokasi ke lokasi lain. Prinsip kerjanya didasarkan pada perbedaan tekanan antara sisi hisap (*suction*) dan sisi keluaran (*discharge*) [2].

Secara umum, terdapat berbagai jenis pompa yang digunakan dalam dunia industri, dan salah satu yang paling umum adalah pompa sentrifugal. Pompa sentrifugal termasuk ke dalam jenis pompa *rotary* yang bekerja dengan menghasilkan tekanan dinamis, sehingga mampu memindahkan fluida dari area bertekanan rendah ke area dengan tekanan lebih tinggi [2]. Pompa ini terdiri dari banyak komponen, namun dua komponen utama dalam proses pemompaan adalah *impeller* dan *volute* [3]. *Impeller* berfungsi sebagai bagian yang berputar, sementara *volute* merupakan bagian tetap (stasioner) dari pompa [1].

Impeller merupakan salah satu komponen utama dalam proses pengolahan dan penyaluran fluida, yang bekerja dengan memanfaatkan putarannya sebagai elemen pemindah fluida dan digerakkan oleh sumber tenaga seperti motor. Saat *impeller* berputar, fluida terdorong oleh sudu-sudu *impeller* dan menghasilkan gaya sentrifugal, yang mengarahkan fluida dari pusat *impeller* menuju bagian luar melalui saluran di antara sudu dengan kecepatan tinggi. Fluida berkecepatan tinggi tersebut kemudian dialirkan ke saluran dengan penampang yang semakin besar, sehingga terjadi konversi energi dari *head* kecepatan menjadi *head* tekanan. Ketika fluida terdorong keluar, terbentuk ruang hampa di antara sudu-sudu yang menyebabkan cairan dari luar terhisap masuk (*vacuum*), menciptakan proses hisap secara berkelanjutan [1].

Permasalahan utama yang cukup umum terjadi pada *impeller* pompa sentrifugal yaitu kavitasi. Kavitasi terjadi ketika tekanan di sisi hisap turun hingga berada di bawah tekanan uap jenuh fluida, sehingga menyebabkan terjadinya perubahan fasa dari cair menjadi uap, yang ditandai dengan terbentuknya gelembung-gelembung uap dalam aliran fluida [1]. Permukaan *impeller* yang dihantam oleh gelembung-gelembung ini secara terus menerus akan mengalami penurunan efisiensi dan kapasitas yang mengakibatkan kerusakan permanen pada *impeller*. Suara yang bising dan getaran yang tidak normal pada pompa sentrifugal merupakan tanda dari kavitasi [4]. Fenomena kavitasi menyebabkan *impeller* mengalami kerusakan berupa erosi, terutama pada bagian sudu-sudunya dan pola lubang pada sudu-sudu *impeller* [5], sehingga diperlukan metode pemantauan kondisi yang efektif untuk memantau kondisi pompa sentrifugal secara intensif untuk menghindari kavitasi pada *impeller* dan mencegah terjadinya kerusakan lebih lanjut.



Gambar I. 1 Kavitasi pada pompa sentrifugal [6].



Gambar I. 2 Erosi dan lubang pada sudu *impeller* akibat kavitasi [6].

Berbagai penelitian dan studi terdahulu telah meneliti fenomena kavitasi. Aulia A., Dkk (2022) melakukan kajian terhadap kavitasi dan *pressure drop* pada bukaan *control valve* pada *software* Autodesk CFD dan terlihat bahwa kavitasi dideteksi dengan melihat penurunan tekanan yang terjadi pada pompa [7]. Penelitian oleh Orlandi F., Dkk. (2021) menggunakan pendekatan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk menganalisis distribusi tekanan dan zona risiko kavitasi pada pompa industri. Studi tersebut menekankan pentingnya geometri *impeller* dan kondisi aliran dalam menentukan potensi terjadinya kavitasi [8]. Pada penelitian tersebut, terlihat bahwa metode untuk mendeteksi kavitasi dilakukan melalui pendekatan pengukuran tekanan dan simulasi CFD. Sehingga, pada penelitian ini digunakanlah metode pemantauan kavitasi secara eksperimental melalui ciri pola spektrum getarannya.

Getaran merupakan salah satu indikator penting dalam mendeteksi kondisi dan kerusakan pada *rotating equipment* seperti pompa sentrifugal, khususnya dalam fenomena kavitasi [9][10]. Kavitasi pada pompa dapat memengaruhi karakteristik sinyal getaran secara signifikan, sehingga kondisi ini dapat dideteksi melalui analisis dalam domain frekuensi. Naiknya amplitudo getaran pada frekuensi tertentu mengindikasikan fase awal terjadinya kavitasi, yang apabila tidak ditangani dapat berkembang menjadi kerusakan serius pada komponen pompa seperti *impeller* maupun *casing* pompa [11]. Oleh karena itu, pemantauan getaran secara *real-time* sangat penting untuk mendeteksi dini kerusakan akibat kavitasi.

Dengan mempertimbangkan pentingnya getaran sebagai indikator kerusakan serta peran analisis frekuensi dalam mendeteksi kavitasi, maka diperlukan kajian yang lebih mendalam mengenai pola getaran yang muncul akibat fenomena tersebut. Pemahaman yang komprehensif mengenai karakteristik getaran yang dihasilkan oleh kavitasi tidak hanya bermanfaat untuk deteksi dini, tetapi juga sebagai dasar dalam pengembangan metode pemantauan kondisi pompa yang lebih akurat dan efisien.

Berdasarkan penjelasan tersebut, penelitian yang berjudul “**Kajian Eksperimental Kavitasi Impeller Berbasis Ciri Kerusakan Getaran Mesin**” bertujuan untuk memahami hubungan antara kavitasi dan pola getaran yang dihasilkan oleh kavitasi

pada *impeller* pompa sentrifugal dan mengidentifikasi ciri getaran kerusakan mesin yang dihasilkan oleh kerusakan akibat kavitasi pada *impeller* pompa sentrifugal.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang memunculkan gagasan untuk melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

- 1) Bagaimana pola getaran yang muncul akibat fenomena kavitasi pada pompa sentrifugal ShowFou CV-132 dengan variasi parameter jumlah sudu *impeller*, kecepatan putar, bukaan katup, dan suhu air?
- 2) Parameter kombinasi manakah yang paling signifikan terhadap munculnya kavitasi pada pompa sentrifugal ShowFou CV-132 berdasarkan metode Taguchi?
- 3) Bagaimana formulasi matematis kavitasi terhadap faktor dan level yang telah diuji berdasarkan hasil eksperimen?

I.3 Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang didapatkan, agar dapat dibahas lebih spesifik maka dibentuk beberapa batasan masalah sebagai berikut.

- 1) Menggunakan pompa sentrifugal dengan jenis pompa ShowFou CV-132 untuk proses pengujian.
- 2) Parameter yang digunakan pada penelitian ini yaitu jumlah sudu *impeller*, kecepatan putar motor (RPM berdasarkan frekuensi), bukaan katup, dan suhu air diluar dari parameter tersebut tidak dibahas pada penelitian ini.
- 3) Pengujian hanya berfokus pada analisa hasil getaran akibat kavitasi pada *impeller* pompa sentrifugal ShowFou CV-132.
- 4) Ciri pola getaran yang dianalisa yaitu dalam bentuk *frequency domain*.
- 5) Jenis sampel *impeller* yang dibuat yaitu *semi-open impeller* dan menggunakan material nylon 101.
- 6) Besaran tekanan dan debit saat terjadi kavitasi tidak dibahas pada penelitian ini.
- 7) Detail pembuatan sampel *impeller* untuk pengujian tidak dibahas pada penelitian ini.
- 8) Analisa hasil getaran akibat kerusakan komponen dan kondisi lain tidak dibahas pada penelitian ini.

- 9) Metode untuk melakukan perbaikan pompa sentrifugal yang diakibatkan oleh kavitasi tidak dibahas pada penelitian ini

I.4 Tujuan dan Manfaat

Dari masalah yang telah dipaparkan diatas, penelitian ini bertujuan untuk.

- 1) Dapat mengetahui dan menganalisis pola getaran yang muncul akibat fenomena kavitasi pompa sentrifugal ShowFou CV-132 dengan variasi parameter jumlah sudu impeller, kecepatan putar, bukaan katup, dan suhu air berdasarkan tabel *diagnostic chart Technical Associates of Charlotte*.
- 2) Mengetahui kombinasi parameter operasi yang paling signifikan berpengaruh terhadap kemunculan kavitasi menggunakan metode Taguchi.
- 3) Mengetahui formulasi matematis kavitasi terhadap faktor dan level yang telah diuji berdasarkan hasil eksperimen.

Adapun manfaat yang diharapkan dengan adanya penelitian ini.

- 1) Menerapkan metode *condition monitoring* berbasis getaran untuk mendeteksi fenomena kavitasi pada pompa.
- 2) Menjadi wawasan baru bagi penulis atau mahasiswa mengenai fenomena kavitasi dan cara mendeteksinya melalui ciri pola getarannya.

I.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini dibahas dengan penjabaran sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN, berisi uraian latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, berisi gambaran umum tentang landasan teori untuk menjelaskan beberapa istilah dan ilmu terkait serta melihat hasil pencapaian penelitian terdahulu dengan kajian yang sama.

BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH, berisi langkah-langkah penyelesaian tugas akhir berupa gambaran umum sistem serta perancangan sistem.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, berisi mengenai hasil dari penelitian dan Pengujian terkait pelaksanaan tugas akhir yang dibuat.

BAB V PENUTUP, berisi kesimpulan dari tujuan yang dicapai beserta saran mengenai tugas akhir yang dibuat.