



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**RANCANG BANGUN SISTEM DETEKSI KAVITASI PADA
POMPA SENTRIFUGAL BERBASIS ANALISIS SUARA DAN
AIOT**

Sub Judul:

**Sistem *Monitoring* Kondisi Pompa dan Proteksi Otomatis
Berbasis IoT dan Node-Red.**

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

SKRIPSI

**RIFAN DIASTAMA
2203431028**

**PROGRAM STUDI
INSTRUMENTASI DAN KONTROL INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
2026**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**RANCANG BANGUN SISTEM DETEKSI KAVITASI PADA
POMPA SENTRIFUGAL BERBASIS ANALISIS SUARA DAN
AIOT**

Sub Judul:

***Sistem Monitoring Kondisi Pompa dan Proteksi Otomatis
Berbasis IoT dan Node-Red.***

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Terapan**

SKRIPSI

**RIFAN DIASTAMA
2203431028**

**PROGRAM STUDI
INSTRUMENTASI DAN KONTROL INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
2026**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Rifan Diastama

NIM : 2203431028

Tanda Tangan :

Tanggal : Selasa, 11 Juni 2026

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Tugas Akhir diajukan oleh :
Nama : Rifan Diastama
NIM : 2203431028
Program Studi : Instrumentasi dan Kontrol Industri
Judul Tugas Akhir : Sistem *Monitoring* Kondisi Pompa dan
Proteksi Otomatis Berbasis IoT dan Node-
Red.

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Tugas Akhir pada 26 Juni 2026 dan dinyatakan **LULUS**.

Pembimbing : Iwa Sudradjat, S.T., M.T. ()
NIP.196106071986011002

Depok, 9 Juli 2026

Disahkan oleh

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Dr. Murie Dwiyaniti, S.T., M.T.

NIP.197803312003122002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul **“Rancang Bangun Sistem Deteksi Kavitas pada Pompa Sentrifugal Berbasis Analisis Suara dan AIoT”**. Skripsi ini ditulis dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Instrumentasi dan Kontrol Industri Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta.

Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini banyak memperoleh bantuan, bimbingan, arahan dan nasehat dari berbagai pihak yang akan selalu penulis syukuri dan kenang. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Sulis Setiowati, S.Pd., M.Eng. selaku Kepala Program Studi Instrumentasi dan Kontrol Industri;
2. Iwa Sudradjat, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, serta pikiran dalam membimbing penulis hingga skripsi ini terselesaikan;
3. Kedua orang tua tercinta atas limpahan kasih sayang, doa, serta dukungan;
4. Arleene Larasita Putri Pangaribuan, Muhammad Rafif Bagastiar, Zalianty Cantika Wijaya, dan Gavin Nibras Antono rekan seperjuangan yang telah menempuh suka duka bersama sejak awal kuliah sampai menyelesaikan tugas akhir bersama;
5. Seluruh rekan kontrakan IKI, pengurus HME PNJ, sahabat SPE PNJ SC, Emti Squad, serta rekan-rekan Teknik Elektro atas dukungan dan kebersamaannya;
6. Seseorang yang selalu menjadi motivasi utama dalam setiap langkah penulis, yang kehadirannya tanpa ia sadari telah memberi warna tersendiri dalam perjalanan penyelesaian tugas akhir ini.

Akhir kata, penulis berharap kepada Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu.

Depok, 10 Juni 2026

Rifan Diastama



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Sistem *Monitoring* Kondisi Pompa dan Proteksi Otomatis Berbasis IoT dan Node-Red.

Abstrak

Kavitasi merupakan salah satu gangguan operasional yang berpotensi merusak impeller dan menurunkan efisiensi pada pompa sentrifugal. Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun sistem deteksi dini kavitasi secara non-intrusif berbasis analisis suara dan *Artificial Intelligence of Things* (AIoT). Sistem memanfaatkan mikrofon INMP441 untuk mengakuisisi sinyal akustik pompa, yang kemudian diklasifikasikan oleh mikrokontroler ESP32-S3 menggunakan algoritma *Tiny Machine Learning* (TinyML). Sebagai langkah mitigasi, sistem dilengkapi proteksi *interlock* otomatis berbasis relay yang akan memutus daya pompa jika kavitasi terdeteksi selama 30 detik. Visualisasi data operasional dilakukan melalui antarmuka *Human Machine Interface* (HMI) berstandar ISA-101 menggunakan Node-RED yang dihosting pada *Virtual Private Server* (VPS). Hasil pengujian mekanikal menunjukkan kavitasi terjadi pada saat persentase bukaan katup diturunkan hingga 50%, dengan ketersediaan *Net Positive Suction Head Available* (NPSHa) tersisa 1,41 meter atau sudah di bawah batas NPSHr pompa, yang direspons oleh model AI dengan lonjakan probabilitas deteksi kavitasi menjadi 0,64. Pengujian transmisi data MQTT menunjukkan latensi rata-rata sebesar 1,3 detik, dengan keandalan data *logging*.

Kata kunci : *Internet of Things*, Kavitasi, Node-RED, Pompa Sentrifugal, TinyML.

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pump Condition Monitoring and Automatic Protection System Based on IoT and Node-RED.

Abstract

Cavitation is an operational disruption that can severely damage impellers and reduce the efficiency of centrifugal pumps. This study aims to design an early, non-intrusive cavitation detection system based on acoustic analysis and the Artificial Intelligence of Things (AIoT). The system utilizes an INMP441 microphone to acquire pump acoustic signals, which are then classified by an ESP32-S3 microcontroller using Tiny Machine Learning (TinyML) algorithms. As a mitigation measure, the system is equipped with an automatic relay-based interlock protection that cuts off the pump's power if cavitation is detected for 30 consecutive seconds. Operational data visualization is performed through an ISA-101 standard Human-Machine Interface (HMI) using Node-RED hosted on a Virtual Private Server (VPS). Mechanical testing results indicated that cavitation occurred when the valve opening was reduced to 50%, where the Net Positive Suction Head Available (NPSHa) dropped to 1.41 meters (below the pump's NPSHr limit), to which the AI model responded with a jump in cavitation detection probability to 0.64. MQTT data transmission tests showed an average latency of 1.3 seconds, with the data logging.

Keywords: *Cavitation, Centrifugal Pump, Internet of Things, Node-RED, TinyML.*

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
<i>Abstrak</i>	vi
<i>Abstract</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Luaran	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 State of The Art.....	4
2.2 Kavitasi	9
2.3. Node-Red	11
2.4. Internet of Things (IoT)	11
2.5. Monitoring	11
2.6. Data Logging.....	12
2.7. <i>Human Machine Interface</i>	12
2.8. Interlock	12
2.9. Virtual Private Server.....	13
2.10. ISO 5167	13
2.11. ISA 101	13
2.12. Komponen.....	14
2.12.1. Pompa Sentrifugal.....	14
2.12.2. Sensor Suara INMP441.....	15
2.12.3. ESP 32 S3.....	15
2.12.4. Vacuum Gauge.....	16
2.12.5. Pressure Gauge.....	16



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.12.6.	Flow Sensor.....	17
2.12.7.	Power Supply Unit.....	17
2.12.8.	<i>Buck Converter</i>	18
BAB III PERANCANGAN DAN REALISASI		19
3.1.	Rancangan Alat	19
3.1.1.	Deskripsi Alat	20
3.1.2.	Cara Kerja Alat	21
3.1.3.	Spesifikasi Desain Alat	22
3.1.4.	Diagram Blok.....	23
3.2.	Realisasi Alat	24
3.2.1.	Struktur Alat.....	24
3.2.2.	Realisasi Per-Blok Sistem.....	25
3.3.	Realisasi Rancang Bangun Alat.....	26
3.4.	Realisasi Perangkat Lunak dan IoT.....	28
3.4.1.	Arduino IDE.....	28
3.4.2.	MQTT	29
3.4.3.	Perancangan Antarmuka HMI menggunakan Node RED	30
3.4.4.	Implementasi <i>Cloud Hosting</i>	32
3.4.5.	Data Logging.....	33
BAB IV PEMBAHASAN.....		35
4.1.	Pengujian Rancang Bangun Deteksi Kavitas.....	35
4.1.1.	Deskripsi Pengujian	35
4.1.2.	Prosedur Pengujian	35
4.1.3.	Data Hasil Pengujian.....	36
4.1.4.	Analisa Data Hasil Pengujian.....	38
4.1.5.	Analisa Perbandingan NPSH dan TinyML.....	42
4.2.	Pengujian Dashboard Monitoring Kavitas.....	43
4.2.1.	Deskripsi Pengujian	43
4.2.2.	Prosedur Pengujian	43
4.2.3.	Data Hasil Pengujian.....	43
4.2.4.	Analisa Data Hasil Pengujian.....	46
4.3.	Pengujian Sistem <i>Interlock</i>	47
4.3.1.	Deskripsi Pengujian	47
4.3.2.	Prosedur Pengujian	47
4.3.3.	Data Hasil Pengujian.....	48
4.3.4.	Analisa Data Hasil Pengujian.....	51



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.4.	Pengujian Data Logging Node-Red	52
4.4.1.	Deskripsi Pengujian	52
4.4.2.	Prosedur Pengujian	52
4.4.3.	Data Hasil Pengujian.....	53
4.4.4.	Analisa Data Hasil Pengujian.....	53
BAB V	PENUTUP	55
5.1.	Kesimpulan	55
5.2.	Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA		58
LAMPIRAN.....		60



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Terbentuknya Kavitasi	9
Gambar 2. 2 Efek Kavitasi pada Impeller	9
Gambar 2. 3 Node-Red	11
Gambar 2. 4 Pompa Sentrifugal (125 Watt)	14
Gambar 2. 5 Sensor INMP441	15
Gambar 2. 6 ESP 32 S3	15
Gambar 2. 7 Vacuum Gauge	16
Gambar 2. 8 Pressure Gauge	16
Gambar 2. 9 Flow Sensor	17
Gambar 2. 10 LM2596	18
Gambar 3. 1 Flowchart Perancangan Alat	19
Gambar 3. 2 Ilustrasi Rancang Bangun	20
Gambar 3. 3 Cara Kerja Sistem	21
Gambar 3. 4 Diagram Blok Sistem	23
Gambar 3. 5 Top To Down System	24
Gambar 3. 6 Tampilan Alat	26
Gambar 3. 7 Tampilan dalam Panel	27
Gambar 3. 8 Pengaturan jaringan dan MQTT	29
Gambar 3. 9 JSON Payload	29
Gambar 3. 10 Tampilan MQTTX	30
Gambar 3. 11 Flow Node RED	31
Gambar 3. 12 Dashboard	31
Gambar 3. 13 Tampilan VPS	32
Gambar 3. 14 Tampilan login Node RED	32
Gambar 3. 15 Tampilan login UI	33
Gambar 3. 16 Node Data Logging	33
Gambar 3. 17 Hasil CSV Logging	34
Gambar 4. 1 Kondisi pada bukaan katup 100%	37
Gambar 4. 2 Kondisi pada bukaan katup 50%	38
Gambar 4. 3 Grafik Perbandingan Kurva NPSHa dan Kurva AI	42
Gambar 4. 4 Kondisi hardware ketika interlock	44
Gambar 4. 5 Kondisi dashboard ketika interlock	44
Gambar 4. 6 Kondisi hardware ketika warning	45
Gambar 4. 7 Kondisi dashboard ketika warning	45
Gambar 4. 8 Kondisi hardware ketika warning	46
Gambar 4. 9 Kondisi dashboard ketika normal	46
Gambar 4. 10 Dashboard awal Test 1	48
Gambar 4. 11 Dashboard Kavitasi Test 1	49
Gambar 4. 12 Dashboard cancel Test 1	49
Gambar 4. 13 Dashboard awal Test 2	49
Gambar 4. 14 Dashboard Kavitasi Test 2	50
Gambar 4. 15 Dashboard cancel Test 2	50
Gambar 4. 16 Dashboard awal Test 3	50
Gambar 4. 17 Dashboard Kavitasi Test 3	51
Gambar 4. 18 Dashboard cancel Test 3	51



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Karya Menanno & Salsano	4
Tabel 2. 2 Penelitian Karya Firdaus.....	4
Tabel 2. 3 Penelitian Karya Sari, Ramadhan, Ridwan, & Rahman	5
Tabel 2. 4 Penelitian Karya Banerjee & Mosherani	5
Tabel 2. 5 Penelitian Karya Dini, Diana, Elhanashi, & Saponara	6
Tabel 2. 6 Penelitian Karya Hassan, Panduru, & Walsh.....	6
Tabel 2. 7 Penelitian Karya Sunal, Dyo, & Velisavljevic.....	7
Tabel 2. 8 Penelitian Karya Kamel, Malik, & Krisdiyanto	7
Tabel 2. 9 Penelitian Karya David et al.	8
Tabel 2. 10 Penelitian Karya Al-Obaidi.....	8
Tabel 3. 1 Spesifikasi Desain Alat.....	22
Tabel 3. 2 Keterangan Tampilan Alat.....	26
Tabel 3. 3 Keterangan Tampilan dalam Panel	27
Tabel 3. 4 Pemetaan Pin.....	28
Tabel 4. 1 Data Pengujian Mekanikal	36
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan NPSHa.....	37
Tabel 4. 3 Data Hasil Pengujian Latensi	43
Tabel 4. 4 Data Pengujian timer interlock	48
Tabel 4. 5 Hasil Verifikasi Data Logging pada Setiap Kondisi Operasional.....	53

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Daftar Riwayat Hidup Penulis	60
Lampiran 2	Program Arduino	61
Lampiran 3	Program Function Node Red	70
Lampiran 4	SOP Pengoperasian Alat.....	70



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pompa sentrifugal merupakan salah satu peralatan krusial dalam berbagai proses industri yang berfungsi untuk memindahkan fluida secara efisien. Namun, keandalan dan umur pakai pompa sering kali terancam oleh anomali operasional, salah satunya adalah kavitasi. Kavitasi merupakan fenomena terbentuk dan pecahnya gelembung uap fluida secara tiba-tiba akibat penurunan tekanan di sisi hisap pompa (Kamiel et al., 2021). Kavitasi yang terjadi secara terus-menerus dan tidak terdeteksi sejak dini dapat mengakibatkan kerusakan mekanis yang parah pada *impeller* serta menurunkan efisiensi sistem secara keseluruhan (Al-Obaidi, 2019).

Secara tradisional, identifikasi gangguan pada mesin rotasi umumnya mengandalkan sensor getaran. Meskipun demikian, analisis berbasis sinyal akustik atau suara telah terbukti menjadi pendekatan alternatif yang sangat efektif dan bersifat *non-intrusif* untuk mendeteksi indikasi awal anomali pada pompa sentrifugal (Menanno & Salsano, 2023). Penggunaan sinyal akustik memungkinkan deteksi kavitasi terjadi dengan tingkat sensitivitas yang tinggi terhadap perubahan dinamika aliran fluida (Al-Obaidi, 2019).

Seiring dengan kemajuan teknologi industri, sistem pemeliharaan prediktif yang hanya mengandalkan *cloud computing* kerap menghadapi kendala latensi akibat besarnya volume transmisi data mentah. Oleh karena itu, pendekatan *edge computing* menjadi solusi esensial untuk memproses data secara *real-time* tepat di dekat sumber data (Banerjee & Mosherani, 2024). Terlebih lagi, dengan hadirnya teknologi *Tiny Machine Learning* (TinyML), algoritma kecerdasan buatan kini dapat dieksekusi secara mandiri pada mikrokontroler atau perangkat dengan sumber daya komputasi dan memori yang sangat terbatas (David et al., 2021). Penerapan TinyML pada perangkat *edge* tidak hanya meningkatkan efisiensi daya, tetapi juga mempercepat waktu respons sistem terhadap anomali (Firdaus, 2025).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Dalam arsitektur *Industrial Internet of Things* (IIoT), sistem deteksi *edge* juga memerlukan integrasi visualisasi pemantauan jarak jauh yang andal (Dini et al., 2024). Penggunaan protokol MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) yang dihubungkan dengan *platform* Node-RED telah terbukti mampu menyediakan sistem visualisasi *dashboard* dan perekaman data yang interaktif, akurat, serta kebal terhadap kehilangan data operasional (Sari et al., 2025).

Berdasarkan permasalahan dan perkembangan teknologi tersebut, penelitian ini mengusulkan “Rancang Bangun Sistem Deteksi Kavitas pada Pompa Sentrifugal Berbasis Analisis Suara dan AIoT”. Mengingat tingginya kompleksitas dan risiko kerusakan perangkat pada pengujian skala industri yang sesungguhnya, implementasi perangkat keras pada penelitian ini dibatasi pada penggunaan pompa sentrifugal berskala rumahan. Pendekatan ini dipilih sebagai representasi pengujian kelayakan untuk memvalidasi algoritma deteksi. Sistem ini mengintegrasikan sensor akustik INMP441, komputasi TinyML pada perangkat *edge* ESP32-S3, serta visualisasi data terpusat menggunakan Node-RED pada *Virtual Private Server* (VPS). Untuk mencegah kerusakan mekanis, sistem ini juga dilengkapi dengan mekanisme proteksi *interlock* otomatis yang akan memutus daya kelistrikan pompa secara adaptif apabila kondisi kavitas yang kritis terdeteksi.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang sistem *monitoring* kondisi pompa sentrifugal berskala rumahan berbasis IoT yang mampu melakukan pemantauan parameter aliran fluida air secara *real-time*?
2. Bagaimana mengimplementasikan algoritma TinyML untuk sistem deteksi kavitas berbasis analisis suara pada perangkat *edge*?
3. Bagaimana mengimplementasikan antarmuka visualisasi dan transmisi data secara andal menggunakan Node-RED serta protokol MQTT?



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4. Bagaimana merancang sistem proteksi otomatis berbasis *interlock* yang mampu memutus daya pompa secara responsif ketika kondisi kavitasi terdeteksi?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah sebelumnya maka didapatkan tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Merancang dan membangun sistem *monitoring* kondisi pompa sentrifugal berskala kecil berbasis IoT yang terfokus secara khusus pada pemantauan parameter aliran fluida air secara *real-time*.
2. Mengimplementasikan dan menguji model TinyML pada mikrokontroler ESP32-S3 yang difokuskan secara eksklusif untuk mendeteksi kavitasi melalui analisis sinyal akustik dari sensor suara INMP441, tanpa menggunakan parameter mekanis tambahan seperti spektrum getaran.
3. Mewujudkan antarmuka visualisasi *dashboard* dan sistem pencatatan data secara terpusat menggunakan *platform* Node-RED pada *Virtual Private Server* (VPS) dengan arsitektur pengiriman data berbasis protokol MQTT.
4. Mengintegrasikan sistem proteksi otomatis berbasis *interlock relay* yang dibatasi secara spesifik untuk melakukan pemutusan daya kelistrikan pompa secara adaptif, apabila gejala kavitasi terdeteksi secara terus-menerus selama 30 detik.

1.4 Luaran

Adapun luaran dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Laporan skripsi
2. Publikasi Jurnal
3. Purwarupa sistem monitoring kondisi pompa sentrifugal berbasis IoT yang terintegrasi dengan Node-RED.
4. Mampu mengintegrasikan dan merancang sistem monitoring kavitasi pada pompa sentrifugal berbasis Node-RED

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, realisasi, dan pengujian sistem deteksi kavitasi pompa sentrifugal berbasis analisis suara dan AIoT yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem monitoring kondisi pompa sentrifugal berbasis IoT telah berhasil dirancang dan mampu melakukan pemantauan secara *real-time*.
2. Implementasi model TinyML pada mikrokontroler ESP32-S3 terbukti tangguh dalam mendeteksi fenomena kavitasi melalui analisis pola suara.
3. Ketangguhan deteksi AI dibuktikan saat bukaan katup hisap dikurangi hingga 50%, yang mana nilai ketersediaan NPSHa turun menjadi 1,41 meter yang jatuh di bawah batas aman NPSHr pompa sebesar 2 meter.
4. Kondisi kavitasi mekanis tersebut direspons oleh sistem dengan lonjakan tingkat probabilitas deteksi menjadi 0,64. Namun, karena karakteristik suara kavitasi pada pompa periferil berskala rumahan yang digunakan terlalu halus, model *machine learning* belum dapat bekerja secara optimal sehingga masih membutuhkan penambahan kode *threshold* secara manual untuk membantu tingkat akurasi pembacaannya.
5. Komunikasi data antara ESP32-S3 dengan *platform* visualisasi Node-RED menggunakan protokol MQTT berjalan dengan responsif, mencatatkan rata-rata latensi pengiriman data di kisaran 1,3 detik.
6. Karakteristik pengiriman protokol MQTT dengan *Quality of Service* (QoS) 0 memang rentan terhadap hilangnya paket data saat sinyal tidak stabil.
7. Arsitektur sistem pemantauan yang terpusat menggunakan *server cloud* VPS serta Node-RED terbukti sangat efektif dan efisien dalam

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

melakukan data *logging* operasional secara *real-time*, mengeliminasi kebutuhan beban pemrosesan memori tambahan pada perangkat keras.

8. Sistem proteksi *interlock* berbasis *relay* telah sukses diintegrasikan untuk bekerja secara otomatis dalam memutus arus daya guna mencegah kerusakan berlebih pada *impeller*.
9. Rangkaian *relay* beroperasi dengan margin *error* waktu yang amat kecil, yaitu selisih 0,1 hingga 0,5 detik dari tenggat waktu *delay* 30 detik.
10. Algoritma pada mikrokontroler sangat adaptif dalam membatalkan status *interlock*.
11. Sistem mampu mereset kembali variabel *timer* hitung mundur ke angka 30 detik dan memulihkan status antarmuka UI menjadi "AMAN" secara instan apabila aliran fluida menjadi normal kembali sebelum tenggat waktu habis, tanpa membutuhkan intervensi pemulihan manual dari pihak operator.

5.2. Saran

Adapun beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk tahapan penyempurnaan rancang bangun dan pengembangan penelitian selanjutnya di bidang instrumentasi adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya, sangat disarankan menggunakan pompa sentrifugal jenis *end suction* dengan desain rumah keong atau dikenal *volute casing* dan kapasitas *flowrate* yang jauh lebih besar, misalnya di kisaran 300 L/min, sejalan dengan standar pada beberapa penelitian sebelumnya. Penggunaan pompa perifer rumah pada purwarupa ini menghasilkan akustik yang terlalu halus sehingga AI harus ditopang oleh kode *threshold*. Dengan dimensi pompa *end suction* dan aliran fluida yang lebih besar, suara spesifik dari pecahnya gelembung kavitasi akan teresonansi lebih jelas oleh *volute*, sehingga ekstraksi fitur AI dapat bekerja murni dan lebih akurat tanpa intervensi *threshold* pembacaan manual.
2. Hasil pengujian jaringan memperlihatkan adanya *packet loss* dari efisiensi pemakaian *Quality of Service* (QoS) level 0. Untuk proyek



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

skala *plant* nyata, disarankan untuk mengimplementasikan tingkat QoS 1 atau QoS 2 pada konfigurasi protokol MQTT guna memastikan keandalan *delivery* data ke dalam basis data server.

3. Sistem saat ini mengandalkan akuisisi frekuensi suara menggunakan mikrofon INMP441. Guna menambah ketajaman klasifikasi, penelitian kelak bisa memasukkan *sensor fusion* yang memadukan input akustik dengan variabel spektrum getaran atau sensor gelembung optik.
4. Proses pengumpulan dataset awal untuk permodelan klasifikasi TinyML pada ESP32-S3 dapat terus diperkaya skalanya. Model akan beradaptasi secara jauh lebih baik apabila sampel *audio* *ditraining* menggunakan kombinasi suara bising latar pabrik serta dari spesifikasi dan *rating* pompa sentrifugal yang beragam.
5. Antarmuka *dashboard* pada Node-RED dapat dikembangkan fungsi *alertnya* dengan integrasi *bot message*. Peningkatan kualitas notifikasi *push* ini sangat direkomendasikan agar para operator mampu menerima *alarm* intervensi bahaya pada gawai *mobile* mereka pada detik yang sama sejak status berubah menjadi "*WARNING*" atau "*INTERLOCK*".

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Obaidi, A. R. (2019) 'Experimental investigation of the effect of suction valve opening on the performance and detection of cavitation in the centrifugal pump based on acoustic analysis technique', *Archives of Acoustics*, 44(1), pp. 59–69.
- Banerjee, J. dan Mosherani, V. (2024) 'The role of edge computing in enhancing real-time data processing for smart manufacturing', *Communication Technology*, 1(1).
- David, R., Duke, J., Jain, A., Reddi, V. J., Jeffries, N., Li, J., Kreeger, N., Nappier, I., Natraj, M., Regev, S., Rhodes, R., Wang, T. dan Warden, P. (2021) 'TensorFlow Lite Micro: Embedded machine learning on TinyML systems', *arXiv preprint arXiv:2010.08678*.
- Dini, P., Diana, L., Elhanashi, A. dan Saponara, S. (2024) 'Overview of AI-models and tools in embedded IIoT applications', *Electronics*, 13.
- Firdaus, M. (2025) *Implementasi TinyML untuk sistem pendeteksi kendaraan berbasis YOLO pada Raspberry Pi*. Proyek Akhir, Politeknik Caltex Riau.
- García, C., Meinel, C. dan Mateescu, R. (2020) 'A review of artificial intelligence in embedded systems', *Electronics*, 9(5), p. 743.
- Gomes, G. F., Mendéz, A., da Silva, L. J. dan da Costa, C. A. (2022) 'Condition monitoring of rotating machinery using low-cost sensors and machine learning', *Sensors*, 22(3), p. 1145.
- Hassan, I. U., Panduru, K. dan Walsh, J. (2023) 'An in-depth study of vibration sensors for condition monitoring', *Sensors*, 23.
- ISO 5167-1 (2003) *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 1: General principles and requirements*. Geneva: International Organization for Standardization.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Kamiel, B. P., Malik, M. N. dan Krisdiyanto (2021) 'Deteksi kavitasi pompa sentrifugal menggunakan metode decision trees berbasis sinyal getaran', *TEKNIK*, 42(3), pp. 282–289.

Menanno, M. dan Salsano, A. (2023) 'Centrifugal pump fault diagnosis using a predictive maintenance model', *Proceedings of the 6th European Conference on Industrial Engineering and Operations Management*.

Sari, M., Ramadhan, R., Ridwan, A. dan Rahman, A. (2025) 'Implementasi Node-RED pada sistem pemantauan suhu dan kelembapan tanah dalam pengelolaan tanaman', *4th MDP Student Conference (MSC)*.

Sunal, C. E., Dyo, V. dan Velisavljevic, V. (2022) 'Review of machine learning based fault detection for centrifugal pump induction motors', *IEEE Access*, 10.

Tan, C. K., Irving, P. dan Mba, D. (2022) 'Acoustic-based condition monitoring of pumps', *Applied Acoustics*, 187, p. 108498.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup Penulis



Rifan Diastama dilahirkan di Kediri pada tanggal 03 September 2004. Penulis merupakan anak ke-2 dari 2 bersaudara. Setelah menamatkan pendidikan di SMAN 35 Jakarta pada tahun 2022, penulis melanjutkan pendidikan jenjang Sarjana Terapan pada Program Studi Instrumentasi dan Kontrol Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta (PNJ) angkatan 2022. Selama masa perkuliahan, penulis menaruh minat besar pada bidang otomasi industri, *Safety Instrumented System (SIS)*, dan *Oil & Gas*.

Selain fokus pada ranah akademik, penulis aktif mengembangkan kemampuan kepemimpinan dengan menjabat sebagai Dewan Pertimbangan dan Pengawasan Organisasi (DPPO) HME PNJ (2025) serta menjadi pengurus inti pada *Society of Petroleum Engineers (SPE) PNJ Student Chapter*. Sebagai persiapan memasuki dunia profesional, penulis telah menyelesaikan Praktik Kerja Industri sebagai *System Engineer Intern* di PT. Control Systems Arena Para Nusa (Juli–Desember 2025) yang berfokus pada proyek sistem kontrol industri. Penulis juga memiliki pengalaman sebagai narasumber dan moderator pada "PCB Design Workshop for ESP32" di tahun 2025. Melalui penulisan skripsi ini, penulis berharap dapat memberikan kontribusi nyata bagi kemajuan teknologi instrumentasi di sektor industri.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 2 Program Arduino

```

/* Edge Impulse Arduino examples
 * Copyright (c) 2022 EdgeImpulse Inc.
 */

#define EIDSP_QUANTIZE_FILTERBANK 0

#include "freertos/FreeRTOS.h"
#include "freertos/task.h"
#include "driver/i2s.h"
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <Wire.h>
#include "duallib.h"
#include <ArleeneLarasita-project-1_inferencing.h>

const char* ssid = "r1";
const char* password = "r12345678";
const char* mqtt_server = "broker.hivemq.com";
const char* topic_data = "testrig/pompa/data";

WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);

const int PIN_MERAH = 10;
const int PIN_KUNING = 11;
const int PIN_MOTOR = 14;
const int PIN_HIJAU = 12;
const int flowSensorPin = 1;

const int I2C_SDA = 8;
const int I2C_SCL = 9;

#define RELAY_NYALA HIGH
#define RELAY_MATI LOW

volatile int pulseCount = 0;
float flowRate = 0.0;
unsigned long oldTime = 0;
unsigned long systemStartTime = 0;

String currentStatus = "STARTUP_DELAY";
unsigned long sisa_timer_interlock = 30;

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

bool is_startup = true;
unsigned long timer_kavitasi = 0;
unsigned long last_mqtt_reconnect = 0;
bool status_kavitasi = false;
bool interlock_aktif = false;

volatile float global_nilai_kavitasi = 0.0;
volatile float global_nilai_normal = 0.0;

const unsigned long STARTUP_DELAY = 15000;
const unsigned long DELAY_INTERLOCK = 30000;

typedef struct {
    int16_t *buffer;
    uint8_t buf_ready;
    uint32_t buf_count;
    uint32_t n_samples;
} inference_t;

static inference_t inference;
static const uint32_t sample_buffer_size = 2048;
static signed short sampleBuffer[sample_buffer_size];
static bool debug_nn = false;
static bool record_status = true;

void IRAM_ATTR pulseCounter() {
    pulseCount++;
}

void setup_wifi() {
    delay(10);
    Serial.println("\nMenghubungkan ke Wi-Fi...");
    WiFi.begin(ssid, password);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
    }
    Serial.println("\nWi-Fi Terhubung!");
}

void flowSensorTask(void *pvParameters);

void setup()
{

```




© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

Serial.begin(115200);
run_classifier_init();

pinMode(PIN_MERAH, OUTPUT);
pinMode(PIN_KUNING, OUTPUT);
pinMode(PIN_MOTOR, OUTPUT);
pinMode(PIN_HIJAU, OUTPUT);

digitalWrite(PIN_MOTOR, RELAY_NYALA);
digitalWrite(PIN_HIJAU, RELAY_NYALA);
digitalWrite(PIN_MERAH, RELAY_MATI);
digitalWrite(PIN_KUNING, RELAY_MATI);

pinMode(flowSensorPin, INPUT_PULLUP);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(flowSensorPin), pulseCounter, RISING);

setup_wifi();
client.setServer(mqtt_server, 1883);

delay(1000);

if (microphone_inference_start(EI_CLASSIFIER_RAW_SAMPLE_COUNT)
== false) {
    Serial.println("ERR: Gagal alokasi audio buffer");
    return;
}

oldTime = millis();
systemStartTime = millis();

xTaskCreatePinnedToCore(flowSensorTask, "FlowMqttTask", 8192, NULL, 1,
NULL, 0);
}

void loop()
{
    bool m = microphone_inference_record();
    if (!m) { return; }

    signal_t signal;
    signal.total_length = EI_CLASSIFIER_RAW_SAMPLE_COUNT;
    signal.get_data = &microphone_audio_signal_get_data;
    ei_impulse_result_t result = { 0 };

    EI_IMPULSE_ERROR r = run_classifier(&signal, &result, debug_nn);
  
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

if (r != EI_IMPULSE_OK) { return; }

float nilai_kavitasi = 0.0;

for (size_t ix = 0; ix < EI_CLASSIFIER_LABEL_COUNT; ix++) {
    if (strcmp(result.classification[ix].label, "kavitasi") == 0) {
        nilai_kavitasi = result.classification[ix].value;
        global_nilai_kavitasi = nilai_kavitasi;
    } else if (strcmp(result.classification[ix].label, "normal") == 0) {
        global_nilai_normal = result.classification[ix].value;
    }
}

float threshold_atas = 0.55;
float threshold_bawah = 0.45;
static bool kondisi_kavitasi_ai = false;

if (nilai_kavitasi >= threshold_atas) {
    kondisi_kavitasi_ai = true;
} else if (nilai_kavitasi <= threshold_bawah) {
    kondisi_kavitasi_ai = false;
}

if (millis() - systemStartTime < STARTUP_DELAY) {
    currentStatus = "STARTUP_DELAY";
    sisa_timer_interlock = 30;
    digitalWrite(PIN_MOTOR, RELAY_NYALA);
    digitalWrite(PIN_HIJAU, RELAY_NYALA);
    digitalWrite(PIN_KUNING, RELAY_MATI);
    digitalWrite(PIN_MERAH, RELAY_MATI);
} else {
    is_startup = false;
    if (kondisi_kavitasi_ai) {
        if (!interlock_aktif) {
            if (!status_kavitasi) {
                status_kavitasi = true;
                timer_kavitasi = millis();
                digitalWrite(PIN_HIJAU, RELAY_MATI);
                digitalWrite(PIN_KUNING, RELAY_NYALA);
            }
            unsigned long waktu_berjalan = millis() - timer_kavitasi;
            long hitung_mundur = 30 - (waktu_berjalan / 1000);
            sisa_timer_interlock = (hitung_mundur < 0) ? 0 : hitung_mundur;
        }
    }
}

```




Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

if (waktu_berjalan >= DELAY_INTERLOCK) {
    interlock_aktif = true;
    sisa_timer_interlock = 0;
    digitalWrite(PIN_MOTOR, RELAY_MATI);
    digitalWrite(PIN_MERAH, RELAY_NYALA);
    digitalWrite(PIN_KUNING, RELAY_MATI);
}
} else {
    sisa_timer_interlock = 0;
}
currentStatus = interlock_aktif ? "INTERLOCK" : "WARNING";
} else {
    if (status_kavitasi && !interlock_aktif) {
        digitalWrite(PIN_KUNING, RELAY_MATI);
        digitalWrite(PIN_HIJAU, RELAY_NYALA);
        digitalWrite(PIN_MOTOR, RELAY_NYALA);
    }
    if (!interlock_aktif) {
        status_kavitasi = false;
        currentStatus = "AMAN";
        sisa_timer_interlock = 30;
    } else {
        currentStatus = "INTERLOCK";
        sisa_timer_interlock = 0;
    }
}
}
}

void flowSensorTask(void *pvParameters) {
    while(1) {
        if (WiFi.status() == WL_CONNECTED && !client.connected()) {
            unsigned long now = millis();
            if (now - last_mqtt_reconnect > 5000) {
                last_mqtt_reconnect = now;
                String clientId = "ESP32S3-Pompa-";
                clientId += String(random(0xffff), HEX);
                client.connect(clientId.c_str());
            }
        } else if (client.connected()) {
            client.loop();
        }
    }

    detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(flowSensorPin));
    int hitungan_pulsa_sementara = pulseCount;

```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

pulseCount = 0;
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(flowSensorPin), pulseCounter,
RISING);

unsigned long currentTime = millis();
unsigned long duration = currentTime - oldTime;
if (duration > 0) {
    flowRate = ((1000.0 / duration) * hitungan_pulsa_sementara) / 8.475;
}
oldTime = currentTime;

char timeString[25];
snprintf(timeString, sizeof(timeString), "%04d-%02d-%02d
%02d:%02d:%02d",
    now.year(), now.month(), now.day(), now.hour(), now.minute(),
now.second());

String payloadJSON = "{";
payloadJSON += "\"waktu\": \"" + String(timeString) + "\",";
payloadJSON += "\"flow\": " + String(flowRate, 2) + ",";
payloadJSON += "\"kavitasi\": " + String(global_nilai_kavitasi, 3) + ",";
payloadJSON += "\"normal\": " + String(global_nilai_normal, 3) + ",";
payloadJSON += "\"timer\": " + String(sisa_timer_interlock) + ",";
payloadJSON += "\"status\": \"" + currentStatus + "\"";
payloadJSON += "}";

if (client.connected()) {
    client.publish(topic_data, payloadJSON.c_str());
}

Serial.println("\n=====
=====");
Serial.printf("Waktu    : %s\n", timeString);
Serial.print("Flow Rate  : "); Serial.print(flowRate, 2); Serial.println("
L/min");
Serial.print("AI Normal  : "); Serial.print(global_nilai_normal, 3);
Serial.println();
Serial.print("AI Kavitasi: "); Serial.print(global_nilai_kavitasi, 3);
Serial.println(" (Threshold Pemicu: 0.55)");
Serial.print("Countdown  : "); Serial.print(sisa_timer_interlock);
Serial.println(" detik");
Serial.print("Status Aksi: "); Serial.println(currentStatus);
Serial.println(">> MQTT    : Mengirim ke Node-RED (Cloud Logging
OK)");

```




Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

Serial.println("=====
=====");

    vTaskDelay(pdMS_TO_TICKS(1000));
}
}

static void audio_inference_callback(uint32_t n_bytes) {
    for(int i = 0; i < n_bytes>>1; i++) {
        inference.buffer[inference.buf_count++] = sampleBuffer[i];
        if(inference.buf_count >= inference.n_samples) {
            inference.buf_count = 0;
            inference.buf_ready = 1;
        }
    }
}

static void capture_samples(void* arg) {
    const int32_t i2s_bytes_to_read = (uint32_t)arg;
    size_t bytes_read = 0;
    int32_t* raw_samples = (int32_t*)malloc(i2s_bytes_to_read * 2);

    while (record_status) {
        i2s_read((i2s_port_t)0, (void*)raw_samples, i2s_bytes_to_read * 2,
        &bytes_read, portMAX_DELAY);
        if (bytes_read > 0) {
            int samples_read = bytes_read / 4;
            for (int x = 0; x < samples_read; x++) {
                int32_t raw_val = (raw_samples[x] >> 11);
                if (raw_val > 32767) raw_val = 32767;
                if (raw_val < -32768) raw_val = -32768;
                sampleBuffer[x] = (int16_t)raw_val;
            }
            if (record_status) { audio_inference_callback(i2s_bytes_to_read); }
            else { break; }
        }
    }
    free(raw_samples);
    vTaskDelete(NULL);
}

static bool microphone_inference_start(uint32_t n_samples) {
    inference.buffer = (int16_t *)malloc(n_samples * sizeof(int16_t));
    if(inference.buffer == NULL) { return false; }
    inference.buf_count = 0;

```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
inference.n_samples = n_samples;
inference.buf_ready = 0;

if (i2s_init(EI_CLASSIFIER_FREQUENCY)) { Serial.println("Failed to start
I2S!"); }
delay(100);
record_status = true;
xTaskCreatePinnedToCore(capture_samples, "CaptureSamples", 1024 * 32,
(void*)sample_buffer_size, 10, NULL, 0);
return true;
}

static bool microphone_inference_record(void) {
while (inference.buf_ready == 0) { delay(10); }
inference.buf_ready = 0;
return true;
}

static int microphone_audio_signal_get_data(size_t offset, size_t length, float
*out_ptr) {
numpy::int16_to_float(&inference.buffer[offset], out_ptr, length);
return 0;
}

static void microphone_inference_end(void) {
i2s_deinit();
ei_free(inference.buffer);
}

static int i2s_init(uint32_t sampling_rate) {
i2s_config_t i2s_config = {
.mode = (i2s_mode_t)(I2S_MODE_MASTER | I2S_MODE_RX),
.sample_rate = sampling_rate,
.bits_per_sample = I2S_BITS_PER_SAMPLE_32BIT,
.channel_format = I2S_CHANNEL_FMT_ONLY_LEFT,
.communication_format = I2S_COMM_FORMAT_STAND_I2S,
.intr_alloc_flags = 0,
.dma_buf_count = 8,
.dma_buf_len = 512,
.use_apll = false,
.tx_desc_auto_clear = false,
.fixed_mclk = -1,
};
i2s_pin_config_t pin_config = {
.bck_io_num = 5,
```




Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
.ws_io_num = 4,
.data_out_num = -1,
.data_in_num = 7,
};
i2s_driver_install((i2s_port_t)0, &i2s_config, 0, NULL);
i2s_set_pin((i2s_port_t)0, &pin_config);
i2s_zero_dma_buffer((i2s_port_t)0);
return 0;
}

static int i2s_deinit(void) {
    i2s_driver_uninstall((i2s_port_t)0);
    return 0;
}

#ifndef EI_CLASSIFIER_SENSOR || EI_CLASSIFIER_SENSOR !=
EI_CLASSIFIER_SENSOR_MICROPHONE
#error "Invalid model for current sensor."
#endif
```

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 3 Program Function Node Red

```
// 1. MENGAMBIL DATA DARI MQTT ESP32
var flow = msg.payload.flow || 0;
var kavitasi = msg.payload.kavitasi || 0;
var normal = msg.payload.normal || 0;
var status_mqtt = msg.payload.status || "AMAN";
var timer = msg.payload.timer || 0;

// 2. GENERATE WAKTU REAL-TIME DARI SERVER VPS
var d = new Date(new Date().toLocaleString("en-US", {timeZone:
"Asia/Jakarta"}));
var year = d.getFullYear();
var month = String(d.getMonth() + 1).padStart(2, '0');
var day = String(d.getDate()).padStart(2, '0');
var hours = String(d.getHours()).padStart(2, '0');
var minutes = String(d.getMinutes()).padStart(2, '0');
var seconds = String(d.getSeconds()).padStart(2, '0');
var waktu_realtime = year + "-" + month + "-" + day + " " + hours + ":" + minutes
+ ":" + seconds;

// 3. VARIABEL STANDAR UNTUK UI DASHBOARD
var lampu_merah = "#888888";
var lampu_kuning = "#888888";
var lampu_hijau = "#888888";
var status_teks = status_mqtt;
var status_warna = "#888888";
var log_text = "";

// 4. LOGIKA KONDISI BERDASARKAN STATUS
if (status_mqtt === "AMAN") {
    lampu_hijau = "#00e676";
    status_teks = "AMAN";
    status_warna = "#81c784";
    log_text = "Sistem aman. Debit stabil di " + flow + " LPM.";
}
else if (status_mqtt === "WARNING") {
    lampu_kuning = "#ffea00";
    status_teks = "WARNING (" + timer + "s)";
    status_warna = "#fff176";
    log_text = "Gejala kavitasi terdeteksi! Menunggu interlock.";
}
else if (status_mqtt === "INTERLOCK") {
    lampu_merah = "#ff1744";
```




Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

status_teks = "INTERLOCK";
status_warna = "#e57373";
log_text = "BAHAYA! Pompa masuk kondisi interlock.";
}
else if (status_mqtt === "STARTUP_DELAY") {
    lampu_hijau = "#00e676";
    status_teks = "PRIMING";
    status_warna = "#64b5f6";
    log_text = "Sistem pemanasan awal (Priming).";
}

// 5. EVENT-BASED LOGGING UNTUK TABEL UI DASHBOARD
var logArray = context.get('logHistory') || [];
var lastStatus = context.get('lastStatus') || "";

// Hanya catat ke tabel UI jika ada perubahan status menggunakan waktu server
if (status_mqtt !== lastStatus) {
    logArray.unshift({time: waktu_realtime, text: log_text});
    if (logArray.length > 100) { logArray.pop(); }
    context.set('logHistory', logArray);
    context.set('lastStatus', status_mqtt);
}

// 6. MEMBUNGKUS PAYLOAD UNTUK KOMPONEN DASHBOARD
var msgHeader = { payload: waktu_realtime + " WIB" };
var msgLampu = { payload: { merah: lampu_merah, kuning: lampu_kuning, hijau:
lampu_hijau } };
var msgStatus = { payload: { teks: status_teks, warna: status_warna } };
var msgFlow = { payload: flow };
var msgLog = { payload: logArray };
var msgTimer = { payload: timer };

// 7. FORMAT LOGGING CSV UNTUK CLOUD
var stringCSV = waktu_realtime + "," + flow + "," + kavitasi + "," + normal + ","
+ status_mqtt + "\n";
var msgCSV = { payload: stringCSV };

// OUTPUT KE NODE SELANJUTNYA
return [msgHeader, msgLampu, msgStatus, msgFlow, msgFlow, msgLog,
msgCSV, msgTimer];

```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 4 SOP Pengoperasian Alat

SOP PENGOPERASIAN ALAT

Sistem Deteksi Kavitasi pada Pompa Sentrifugal Berbasis IoT

ALAT & BAHAN

1. Pompa Sentrifugal 125W
2. ESP32-S3 (Edge ML)
3. Sensor INMP441 & YF-B1
4. Vacuum & Pressure Gauge
5. Relay 4-Ch & PSU 12VDC
6. Pipa Akrilik & Ball Valve
7. Laptop (Node-RED)

GAMBAR ALAT



TIM PENYUSUN

DIBUAT OLEH:
Rifan Diastama
Arleene Larasita Putri P.

DOSEN PEMBIMBING:
Iwa Sudradjat, S.T., M.T.
NIP. 1961 0607 198601 1 002

TATA CARA PENGOPERASIAN SISTEM

1. TAHAP PERSIAPAN & INISIALISASI

1. Nyalakan sistem melalui saklar/MCB pada panel kontrol; pastikan Mikrokontroler ESP32-S3 dan sensor menyala.
2. Tunggu inisialisasi (*startup delay*) selama 15 detik, pastikan **lampu hijau (AMAN)** menyala dan sistem terhubung ke Wi-Fi.
3. Akses alamat IP *dashboard* Node-RED (VPS) melalui *browser*, *login* dengan kredensial yang valid.
4. Pastikan *Ball Valve* pada inlet dan outlet dalam keadaan **terbuka penuh (100%)**.
5. Tutup perlahan *Ball Valve* outlet sebesar 40° untuk memberikan pembebanan awal hingga mencapai 3 Psi.

⚠️ PERINGATAN: Jangan menutup katup outlet >75 derajat dalam keadaan pompa menyala! Tekanan berlebih sangat berbahaya; dapat merusak komponen pompa dan menyebabkan sambungan pipa terpejal.

2. SIMULASI KAVITASI & MONITORING HMI

1. Pantau *dashboard* HMI; pastikan indikator debit air (Flowrate) dan grafik probabilitas kavitasi berjalan normal.
2. Mulai simulasi dengan **menutup secara bertahap katup inlet** (75%, 50%, hingga 25%) untuk memicu kondisi vakum.
3. Amati terbentuknya gelembung kavitasi secara visual pada pipa akrilik transparan di sisi hisap.
4. Jika sistem TinyML mendeteksi suara kavitasi (probabilitas > 0.55), HMI otomatis berubah menjadi **"WARNING"**.
5. **Lampu kuning** pada panel menyala dan sistem akan memulai hitung mundur (*timer*) selama 30 detik.

3. PROTEKSI (INTERLOCK) & UNDUH DATA

1. Jika kavitasi berlangsung selama 30 detik berturut-turut, ESP32-S3 akan memicu **INTERLOCK**.
2. Suplai daya terputus otomatis, layar HMI berstatus merah, dan **lampu merah** panel menyala untuk melindungi *impeller*.
3. Untuk melakukan *reset* sistem, **buka kembali katup inlet hingga 100%**. Alat akan mendeteksi aliran normal dan kembali ke status "AMAN".
4. Klik tombol **"UNDUH FILE .CSV"** pada *dashboard* Node-RED untuk menyimpan *log data* riwayat pengujian.