



© 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 Klasifikasi Anomali Suara Kavitas pada Pompa Sentrifugal
Menggunakan Metode *TinyML* pada Mikrokontroler ESP32-S3.**

SKRIPSI

**Arleene Larasita Putri Pangaribuan
2203431012**

PROGRAM STUDI

INSTRUMENTASI DAN KONTROL INDUSTRI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

2026



© 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 Klasifikasi Anomali Suara Kavitasi pada Pompa
Sentrifugal Menggunakan Metode *TinyML*
pada Mikrokontroler ESP32-S3.**

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

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

SKRIPSI

**Arleene Larasita Putri Pangaribuan
2203431012**

**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

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

Nama : Arleene Larasita Putri Pangaribuan

NIM : 2203431012

Tanda Tangan :

Tanggal : 11 Juni 2026



**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



© 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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Tugas Akhir diajukan oleh

Nama : Arleene Larasita Putri Pangaribuan

NIM : 2203431012

Program Studi : Instrumentasi dan Kontrol Industri

Judul Tugas Akhir : Sistem Klasifikasi Anomali Suara Kavitas
pada Pompa Sentrifugal Menggunakan
Metode *TinyML* pada Mikrokontroler ESP32-S3

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 Dwivaniti, 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul "Rancang Bangun Sistem Deteksi Kavitas pada Pompa Sentrifugal Berbasis Analisis Suara DAN AIOT" dengan sub-judul "**Sistem Klasifikasi Anomali Suara Kavitas pada Pompa Sentrifugal Menggunakan Metode *TinyML* pada Mikrokontroler ESP32-S3**". Penulis menyadari bahwa penyelesaian Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus kepada:

1. Iwa Sudradjat, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing atas waktu, bimbingan, demi kesempurnaan alat serta laporan ini.
2. Ibu saya, yang berjuang seorang diri membesarkan dan menguliahkan penulis dalam segala keterbatasan. Terima kasih atas doa, kasih sayang, dan pengorbanan yang menjadi kekuatan terbesar penulis.
3. Rifan Diastama, rekan kerja Tugas Akhir atas kerja keras, dedikasi, dan kebersamaannya dalam membangun sistem serta saling menyemangati di kala sulit. Terima kasih atas kesabarannya yang luar biasa dalam mendampingi dan menenangkan penulis di saat menangis, serta keluasannya dalam memaklumi perubahan suasana hati dan minimnya kesabaran penulis selama proses pengerjaan ini.
4. Kakak-kakak terdekat penulis, terima kasih telah menjadi teman diskusi terbaik, selalu menanyakan kabar, memberikan pelukan menenangkan, dan menjadi tim pemandu sorak paling antusias.
5. Teman-teman "Jehovah Rapha", terima kasih atas doa dan kebersamaan sejak kecil hingga pendidikan tingkat lanjut ini. Dukungan emosional kalian menjadi sandaran berharga yang menguatkan penulis.
6. Gereja "*Crosswalk*", terima kasih telah menjadi tempat yang begitu bermakna, sebuah titik pijak awal (*ground zero*) bagi penulis untuk menemukan kembali kekuatan dan memulai segala sesuatunya lagi dari nol.
7. Zalianty Wijaya, selaku teman yang selalu ada menemani di semester akhir ini, khususnya di tempat "tembok biru" ini. Terima kasih atas kehadiran,



© 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

dukungan, dan kebersamaannya yang sangat berarti bagi penulis dalam melewati masa-masa pengerjaan akhir perkuliahan

8. Maria selaku sahabat yang selalu bersedia mendengarkan keluh kesah, bahkan di tengah malam sekalipun. Terima kasih telah senantiasa hadir menemani penulis di kala susah, sedih, maupun senang, serta selalu ada saat penulis dilanda kebingungan dan kecemasan pikiran yang berlebih.
9. Terakhir, penulis ingin mendedikasikan apresiasi terdalam kepada seorang perempuan yang selalu memilih untuk bertahan. Terima kasih kepadanya yang telah berjuang melewati malam-malam panjang yang melelahkan. Meski tak jarang ia harus menangis tersedu dan kehabisan tenaga, ia tetap menolak untuk kalah pada keadaan. Terima kasih kepadanya yang terus merawat ketegaran di tengah banyaknya tekanan, yang tetap memaksakan langkah saat pundak terasa begitu berat, dan tidak pernah menjadikan kata 'berhenti' sebagai sebuah pilihan. Karena keteguhannya untuk tidak pernah menyerah itulah, perempuan tangguh tersebut kini berhasil merampungkan perjuangannya dan menjadi penulis dari skripsi ini.

Depok, 6 Juni 2026

Arleene Larasita Putri Pangaribuan

**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

Sistem Klasifikasi Anomali Suara Kavitasi pada Pompa Sentrifugal
Menggunakan Metode *TinyML* pada Mikrokontroler ESP32-S3.

ABSTRAK

Kavitasi pada pompa sentrifugal merupakan anomali operasional yang memicu kerusakan impeler dan menurunkan efisiensi mesin secara drastis. Penelitian ini merancang bangun sistem deteksi dini kavitasi berbasis *Artificial Intelligence of Things* (AIoT) yang beroperasi secara *real-time* menggunakan mikrokontroler ESP32-S3. Pemantauan kondisi pompa mengandalkan analisis sinyal suara, di mana fitur akustik diekstraksi melalui metode *Mel-Frequency Energy* (MFE). Ekstraksi tersebut kemudian diklasifikasikan menggunakan algoritma *2D Convolutional Neural Network* (CNN) dengan arsitektur *Tiny Machine Learning* (TinyML). Melalui teknik prapemrosesan pemotongan segmen data berdurasi 200 ms untuk mencegah *overfitting*, model terbaik berhasil mencapai tingkat akurasi validasi sebesar 89,1% dan akurasi *testing* sebesar 87,85%. Pada tahap pengujian langsung (*live testing*), penetapan ambang batas probabilitas (*threshold*) di angka 0,55 terbukti sangat akurat dalam mengidentifikasi anomali suara kavitasi. Sistem ini juga terintegrasi dengan proteksi otomatis (*interlock*) yang memicu *relay* untuk mematikan pompa secara instan setelah kavitasi terdeteksi selama 30 detik berturut-turut. Secara keseluruhan, purwarupa ini menghadirkan solusi pemantauan industri yang murah, responsif, dan mampu memproses komputasi secara mandiri pada tingkat perangkat keras.

Kata Kunci: Kavitasi, TinyML, ESP32-S3

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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Sistem Klasifikasi Anomali Suara Kavitasi pada Pompa Sentrifugal
Menggunakan Metode *TinyML* pada Mikrokontroler ESP32-S3.

ABSTRACT

Cavitation in centrifugal pumps is an operational anomaly that causes severe impeller damage and drastically reduces machine efficiency. This study designs an Artificial Intelligence of Things (AIoT)-based early cavitation detection system that operates in real-time using the ESP32-S3 microcontroller. Pump condition monitoring relies on acoustic signal analysis, where audio features are extracted through the Mel-Frequency Energy (MFE) method. These features are then classified using a 2D Convolutional Neural Network (CNN) algorithm integrated with a Tiny Machine Learning (TinyML) architecture. Through a preprocessing technique of splitting data into 200 ms segments to prevent overfitting, the optimal model successfully achieved a validation accuracy of 89.1% and a testing accuracy of 87.85%. During the live testing phase, setting the probability threshold at 0.55 proved highly accurate in identifying sound anomalies directly. The system is also integrated with an automatic protection mechanism (interlock) that triggers a relay to shut down the pump after 30 seconds of continuous cavitation detection. Overall, this prototype provides a low-cost, responsive, and edge-computed monitoring solution for industrial machinery.

Keywords: *Cavitation, TinyML, ESP32-S3*

**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 SKRIPSI	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR RUMUS	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Luaran.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 State of The Art	4
2.2 Landasan Teori	11
2.2.1 Kavitasi	11
2.2.2 Pompa Sentrifugal	12
2.2.3 Sensor Suara INMP441	13
2.2.4 ESP 32 S3 Dev Kit	13
2.2.5 Vacuum Gauge	14
2.2.6 Pressure Gauge	14
2.2.7 Flow Sensor	15
2.2.8 Power Suply Unit.....	15
2.2.9 Node-Red.....	16
2.2.10 Buck Converter.....	16
2.2.11 Matriks Evaluasi Kinerja Model (<i>Confusion Matrix</i>).....	17
2.2.12 Pemrosesan Sinyal Akustik dan <i>Mel-Frequency Energy</i> (MFE)	18
2.2.13 <i>Machine Learning</i> dan <i>Supervised learning</i>	19



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

2.2.14 <i>Convolutional Neural Network</i> (2D CNN) dan <i>TinyML</i>	19
2.2.15 Teorama Nyquist-Shannon	20
BAB III PERANCANGAN DAN REALISASI	21
3.1 Rancangan Alat	21
3.1.1 Deskripsi Alat	22
3.1.2 Cara Kerja Alat	23
3.1.3 Spesifikasi Alat	24
3.1.4 Diagram Blok	25
3.2 Realisasi Alat	26
3.2.1 Struktur Alat	26
3.2.2 Realisasi Per-Blok Sistem	27
3.2.2.1 Sensor Suara	27
3.2.2.2 Sensor Debit	27
3.2.2.3 Pemrosesan dan <i>TinyML</i>	27
3.2.2.4 Monitoring dan Data Logging	28
3.2.2.5 Proteksi Sistem	28
3.2.3 Realisasi Rancang Bangun Alat	28
3.2.4 Realisasi Pembuatan Dataset dan <i>Baseline</i> Fisik	30
3.2.5 Algoritma Pemrosesan Data (<i>Data Pre-processing</i>)	31
3.3.2 Realisasi Algoritma Klasifikasi (<i>Supervised learning</i>)	31
3.3.3 Realisasi Parameter <i>Machine Learning</i>	32
3.3.4 Realisasi Matriks Evaluasi Model	32
BAB IV PEMBAHASAN	34
4.1 Pengujian Skenario I: Klasifikasi Kavitas Sinyal Akustik 600 Data	34
4.1.1 Deskripsi Pengujian	34
4.1.2 Prosedur Pengujian	34
4.1.3 Data Hasil Pengujian	35
4.1.4 Analisis Data	40
4.2 Pengujian Skenario II: Klasifikasi Kavitas Sinyal Akustik 2000 data	41
4.2.1 Deskripsi Pengujian	41
4.2.2 Prosedur Pengujian	41
4.2.3 Data Hasil Pengujian	42
4.2.4 Analisis Data	48
4.3 Pengujian Skenario III Split Data	49
4.3.1 Deskripsi Pengujian	49
4.3.2 Prosedur Pengujian	49



© 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.3.3 Data Hasil Pengujian	50
4.3.4 Analisa Data.....	56
4.4 Implementasi <i>Real-time (Live Testing)</i> dan Sistem Proteksi IoT.....	57
4.4.1 Skenario Pengujian dan Konfigurasi Sistem IoT.....	57
4.4.2 Hasil Observasi Kondisi Normal vs Kavitasi	57
4.4.3 Validasi Fenomena Kavitasi Melalui Parameter Operasionaa Pompa .	60
BAB V KESIMPULAN.....	63
5.1 Kesimpulan.....	63
5.2 Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA	66
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	69
LAMPIRAN.....	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

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kavitasi	11
Gambar 2. 2 Efek Kavitasi pada Impeller	11
Gambar 2. 3 Pompa Sentrifugal (125 Watt)	12
Gambar 2. 4 Sensor INMP441	13
Gambar 2. 5 ESP 32 S3 Dev Kit.....	13
Gambar 2. 6 Vacuum Gauge.....	14
Gambar 2. 7 Pressure Gauge.....	14
Gambar 2. 8 <i>Flow Sensor</i>	15
Gambar 2. 9 PSU 12 V 10 A.....	15
Gambar 2. 10 Logo Node-Red.....	16
Gambar 2. 11 LM2596.....	16
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian.....	22
Gambar 3. 2 Ilustrasi Rancang Bangun	23
Gambar 3. 3 Flowchart Kerja Sistem.....	23
Gambar 3. 4 Diagram Blok Sistem.....	25
Gambar 3. 5 Top to Down Sistem.....	26
Gambar 3. 6 Tampilan Alat	28
Gambar 3. 7 Tampilan dalam Panel.....	29
Gambar 3. 8 Visual Gelembung ketika terjadi Kavitasi	30
Gambar 4. 1 Konfigurasi Parameter Ekstraksi Fitur MFE Pengujian I.....	35
Gambar 4. 2 Neural Network Settings	36
Gambar 4. 3 Grafik Epoch Accuracy dan Epoch Loss Pengujian I.....	36
Gambar 4. 4 Confusion Matrix Hasil Validasi Internal Pengujian I.....	37
Gambar 4. 5 Hasil Recall,F1-Score dan precision	37
Gambar 4. 6 Data Explorer	39
Gambar 4. 7 Confusion Matrix pada Data Buta (Testing Set) Pengujian I	40
Gambar 4. 8 Parameter MFE (Mel-Frequency Energy)	42
Gambar 4. 9 Neural Network Settings	43
Gambar 4. 10 Grafik Epoch Accuracy dan Epoch Loss Pengujian II.....	43
Gambar 4. 11 Confusion Matrix Hasil Validasi (Validation Set) Pengujian.....	44
Gambar 4. 12 Hasil Recall,F1-Score dan precision.....	45
Gambar 4. 13 Visualisasi Peta Fitur (Feature Explorer) Pengujian II	46
Gambar 4. 14 Confusion Matrix pada data Testing Set Pengujian II	47
Gambar 4. 15 Pengaturan Parameter MFE	50
Gambar 4. 16 Pengaturan Parameter Pelatihan Neural Network.....	51
Gambar 4. 17 Grafik Performa Training (Akurasi dan Loss)	52
Gambar 4. 18 Confusion Matrix Hasil Validasi Internal	52
Gambar 4. 19 Hasil F1 Score,Recall,Precision.....	53
Gambar 4. 20 Visualisasi Data Explorer.....	55
Gambar 4. 21 Confusion Matrix Hasil Pengujian	56
Gambar 4. 22 Gambar Live Testing pada Kondisi Normal	58
Gambar 4. 23 Gambar Live Testing pada Kondisi Kavitasi	58
Gambar 4. 24 Gambar Live Testing pada Kondisi Interlock.....	59
Gambar 4. 25 Grafik Validasi Kavitasi.....	61



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

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian KaryaYogeswar Reddy Thota.....	4
Tabel 2. 2 Penelitian Karya Srijesh Pillai	4
Tabel 2. 3 Penelitian Karya Sidra Abbas	5
Tabel 2. 4 Penelitian karya Ernest Tooohukwu Samuel	6
Tabel 2. 5 Penelitian karya Xiaohui Liu	6
Tabel 2. 6 Penelitian karya Dongwei Wang	7
Tabel 2. 7 Penelititan Amar Almaini	8
Tabel 2. 8 Penelitian Steve Handerson Chang	8
Tabel 2. 9 Penelitian Anindita Adikaputri Vinaya.....	9
Tabel 2. 10 Penelitian Ahmed Ramdhan Al-Obaidi	9
Tabel 3. 1 Spesifikasi Desain Alat	24
Tabel 3. 2 Spesifikasi Desain Alat	29
Tabel 3. 3 Keterangan dalam Panel	29
Tabel 4. 1 Data Hasil Pengujian Parameter Operasional Pompa.....	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 RUMUS

Rumus 2. 1 Akurasi.....	17
Rumus 2. 2 Presisi.....	17
Rumus 2. 3 Recall	18
Rumus 2. 4 F1 Score	18
Rumus 2. 5 Teorama Nyquist-Shannon	20
Rumus 4. 1 Pembuktian Akurasi Percobaan I.....	38
Rumus 4. 2 Pembuktian Presisi percobaan I.....	38
Rumus 4. 3 Pembuktian Recall Percobaan I.....	38
Rumus 4. 4 Pembuktian F1 Score Percobaan I.....	39
Rumus 4. 5 Pembuktian Akurasi Percobaan II	45
Rumus 4. 6 Pembuktian Presisi Percobaan II	45
Rumus 4. 7 Pembuktian Recall Percobaan II.....	46
Rumus 4. 8 Perhitungan F1 Score Percobaan II	46
Rumus 4. 9 Pehitungan Akurasi Percobaan III.....	54
Rumus 4. 10 Pehitungan Presisi Percobaan III.....	54
Rumus 4. 11 Pehitungan Sensitivas Percobaan III	54
Rumus 4. 12 Pehitungan F1-Score Percobaan III.....	54

**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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Program Live Testing.....	70
Lampiran 2 Foto Alat Hardware	76
Lampiran 3 Sensor dan peredam	77
Lampiran 4 Program Running Sensor.....	77
Lampiran 5 Program Menyimpan Data Recording.....	79
Lampiran 6 Baseline	81
Lampiran 7 Program Substract Data.....	81
Lampiran 8 Program Split Data	82



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 yang paling banyak diandalkan dalam berbagai sektor industri dan utilitas. Keandalan operasional pompa sangat berpengaruh terhadap kontinuitas proses secara keseluruhan, sehingga sekecil apa pun gangguan operasional dapat berdampak langsung pada penurunan performa sistem.

Salah satu anomali aliran yang paling sering terjadi dan merugikan adalah kavitasi, yaitu fenomena terbentuk dan pecahnya gelembung uap air secara masif akibat penurunan tekanan fluida di bawah tekanan uap. Fenomena kavitasi yang terjadi secara terus-menerus akan menimbulkan efek destruktif pada komponen impeler, peningkatan kebisingan dan getaran yang ekstrem, hingga penurunan total efisiensi operasional mesin (Liu et al., 2023). Selain itu, perubahan kondisi dinamika fluida di dalam ruang pompa akibat kavitasi akan berdampak langsung pada pola getaran yang dihasilkan selama mesin beroperasi (Zhang et al., 2014).

Oleh karena itu, berbagai metode pemantauan dan deteksi dini kavitasi telah dikembangkan untuk mencegah kerusakan mekanis yang fatal. Secara konvensional, analisis sinyal getaran kerap digunakan karena kemampuannya mengidentifikasi perubahan spektrum mekanis pada pompa (Kamiel et al., 2019). Namun, selain menghasilkan getaran, proses keruntuhan gelembung kavitasi (*bubble collapse*) biasanya juga menghasilkan suara akustik atau sinyal suara. Penelitian terbaru oleh (Wang et al. 2025) membuktikan bahwa analisis sinyal akustik memiliki sensitivitas yang sangat tinggi terhadap perubahan laju aliran dan fluktuasi *Net Positive Suction Head* (NPSH), sehingga metode ini sangat efektif untuk mendeteksi pembentukan awal kavitasi (*cavitation inception*) bahkan sebelum getaran mekanis yang parah terasa. Hal ini dikuatkan oleh Liu et al. (2023) yang menegaskan bahwa sinyal suara memuat ragam informasi terkait interaksi fluida yang berpotensi besar menjadi parameter utama pemantauan kondisi pompa sentrifugal.

Akan tetapi, pemanfaatan sinyal suara menghadapi tantangan tersendiri. Karakteristik akustik yang dihasilkan oleh pompa bersifat sangat dinamis, non-



© 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

linear, dan rentan tercampur dengan berbagai sumber kebisingan latar (*noise*) dari lingkungan industri sekitarnya.

Menghadapi kompleksitas tersebut, diperlukan sebuah metode analitis yang mampu memisahkan dan mengenali pola suara anomali secara otomatis dan akurat. Seiring melesatnya teknologi kecerdasan buatan, pendekatan berbasis *Machine Learning* mulai menjadi standar baru dalam sistem pemantauan kondisi peralatan. Algoritma ini terbukti unggul dalam mengekstraksi fitur kompleks dari raw data sensor, termasuk deret waktu sinyal audio, sehingga meningkatkan akurasi deteksi anomali secara signifikan (Pillai et al., 2025).

Adanya kemunculan arsitektur *Tiny Machine Learning (TinyML)* menghadirkan terobosan baru dengan memungkinkan model kecerdasan buatan dijalankan secara langsung pada perangkat keras dengan sumber daya memori dan daya yang sangat terbatas (mikrokontroler). Pendekatan *Edge Computing* ini memungkinkan proses klasifikasi suara dilakukan tepat di lokasi perangkat terpasang (*on-device*), tanpa harus mengirimkan data audio mentah ke *cloud*. Hal ini tidak hanya mencegah keterlambatan data agar sistem bekerja secara *Real-time*, tetapi juga menghemat *bandwidth* secara efisien. Berbagai studi membuktikan bahwa *TinyML* mampu memberikan performa klasifikasi yang tinggi meskipun beroperasi di bawah batasan komputasi perangkat keras (Thota et al., 2025).

Dari sisi akuisisi data keras, sensor mikrofon digital INMP441 dinilai mumpuni untuk menangkap sinyal suara dengan kualitas kejernihan tinggi, yang dapat diintegrasikan dengan mikrokontroler ESP32-S3 melalui protokol komunikasi I2S. Mikrokontroler ESP32-S3 sangat ideal untuk memproses model kecerdasan buatan berukuran kecil (*TinyML*) secara mandiri. Namun, meskipun teknologi ini sering dipakai untuk pemeliharaan mesin, penelitian yang secara khusus mengintegrasikan deteksi kavitasi pompa melalui suara, sensor INMP441, dan diproses langsung pada ESP32-S3 masih jarang ditemukan.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk merancang bangun sebuah sistem kecerdasan buatan berbasis *Internet of Things* (AIoT) yang mampu mendeteksi kavitasi secara akurat, responsif (*Real-time*), serta berbiaya rendah dan mandiri secara komputasi. Sebagai tahapan awal dalam mewujudkan purwarupa sistem pemantauan yang terjangkau dan mudah direplikasi



© 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

tersebut, ruang lingkup pengujian pada penelitian ini difokuskan pada penggunaan pompa sentrifugal berskala kecil, yaitu pompa air rumahan, sebagai objek observasi utamanya.

1.2 Rumusan Masalah

- Bagaimana mengolah sinyal suara pompa sentrifugal skala rumahan untuk mendeteksi kavitasi?
- Bagaimana menerapkan metode *Tiny Machine Learning* pada mikrokontroler ESP32-S3?
- Bagaimana mengklasifikasikan kondisi pompa sentrifugal rumahan yang normal dan kavitasi?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- Mengembangkan sistem klasifikasi anomali suara pada pompa sentrifugal skala rumahan.
- Mengimplementasikan model *Tiny Machine Learning* pada mikrokontroler ESP32-S3.
- Menghasilkan sistem deteksi kavitasi berbasis suara yang dapat bekerja secara *Real-time*.

1.4 Luaran

Adapun luaran dari penelitian ini sebagai berikut:

- Sistem klasifikasi suara berbasis *TinyML* pada ESP32-S3.
- Model *machine learning* untuk deteksi kavitasi.
- Laporan Tugas Akhir.

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 KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan seluruh rangkaian penelitian, mulai dari perancangan model, pengujian skenario, hingga implementasi pada sistem IoT untuk deteksi kavitasi pompa sentrifugal, dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. Pengolahan Sinyal Suara Pompa:

Pengolahan sinyal suara untuk mendeteksi kavitasi paling efektif dilakukan menggunakan fitur Log Mel-Filterbank Energy (MFE) dengan menerapkan Skenario III (proses preprocessing subtract dan pemotongan/split data audio 1 detik menjadi jendela 0,2 detik). Metode ini berhasil meningkatkan variasi dataset mandiri (sebanyak 2201 sampel) dan menghasilkan akurasi model sebesar 89,1% pada tahap validasi serta 87,85% pada pengujian data buta (testing set).

2. Implementasi *TinyML* pada ESP32-S3:

Model *Tiny Machine Learning* (*TinyML*) berhasil dikonversi ke format TensorFlow Lite Micro dan dijalankan secara langsung (on-device) pada mikrokontroler ESP32-S3. Meskipun berhasil beroperasi di bawah batasan komputasi perangkat keras, pengujian langsung (live testing) menunjukkan tantangan berupa tipisnya selisih probabilitas prediksi antar kelas (berkisar 0,1 hingga 0,2) karena karakteristik akustik pompa mikro yang cenderung homogen.

3. Klasifikasi Kondisi Pompa secara *Real-time*:

Sistem berhasil melakukan klasifikasi kondisi pompa antara Normal dan Kavitasi secara *Real-time*. Guna mengatasi ambiguitas akibat tipisnya selisih probabilitas saat live testing, sistem thresholding sebesar 0,55 berhasil diterapkan pada perangkat edge. Selain itu, integrasi interlocking delay selama 30 detik pada sistem IoT terbukti efektif sebagai sistem proteksi otomatis untuk memutus arus relay dan mematikan pompa saat kavitasi terdeteksi secara konsisten.



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

5.2 Saran

Mengingat sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini masih berbasis prototipe akademis, sistem ini belum dapat diimplementasikan secara langsung di lingkungan industri nyata akibat adanya batasan spesifikasi perangkat keras serta homogenitas lingkungan pengujian. Oleh karena itu, peneliti menyarankan beberapa poin berikut yang ditujukan sepenuhnya bagi peneliti selanjutnya untuk pengembangan kualitas prototipe ini ke depan:

1. Perluasan Dataset untuk Klasifikasi Multi-Kelas:

Prototipe dalam penelitian ini baru membatasi proses klasifikasi *TinyML* secara biner (Normal vs Kavitasi). Peneliti selanjutnya disarankan untuk memperluas volume dataset rekaman suara agar model *TinyML* yang dirancang mampu mengklasifikasikan tingkat keparahan fenomena kavitasi secara spesifik, seperti kavitasi awal (inception), kavitasi sedang (mild), dan kavitasi parah (severe).

2. Eksplorasi Metode Ekstraksi Fitur Audio Ringan Lainnya:

Untuk Mengatasi kendala tipisnya selisih probabilitas antar kelas saat pengujian langsung (live testing), disarankan bagi peneliti selanjutnya untuk mengeksplorasi dan membandingkan metode ekstraksi fitur audio lain yang kompatibel dengan *TinyML*. Penggunaan metode seperti Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) atau Fast Fourier Transform (FFT) murni patut dicoba untuk melihat potensinya dalam memperlebar jarak delta probabilitas prediksi pada mikrokontroler.

3. Eksplorasi Variasi dan Optimasi Arsitektur Model *TinyML*:

Peneliti selanjutnya dapat mencoba melakukan variasi arsitektur model *TinyML* yang dijalankan pada ESP32-S3, misalnya dengan melakukan hyperparameter tuning (mengubah jumlah layer, neuron, atau nilai learning rate). Hal ini penting untuk menguji apakah ada variasi struktur model lain yang bisa menghasilkan tingkat confidence score yang lebih tinggi dan lebih stabil dalam meredam noise spikes lingkungan, namun tetap menghemat konsumsi memori RAM/Flash mikrokontroler.



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. Pengujian pada Variasi Spesifikasi Pompa dan Lingkungan Eksperimen:

Dataset pada prototipe ini dibangun secara mandiri pada satu jenis pompa mikro yang memiliki karakteristik suara cenderung homogen. Peneliti selanjutnya disarankan melakukan pengujian model *TinyML* ini pada beberapa variasi spesifikasi pompa sentrifugal yang berbeda serta menguji variasi jarak peletakan sensor mikrofon terhadap sumber suara. Hal ini bertujuan untuk menguji tingkat kekokohan (robustness) model sebelum nantinya prototipe ini dikembangkan lebih jauh ke arah standarisasi 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, S., Ojo, S., Al Hejaili, A., Sampedro, G.A., Almadhor, A., Zaidi, M.M. and Kryvinska, N. (2024). Artificial intelligence framework for heart disease classification from audio signals. *Scientific Reports*, 14, p.3123.
- Al-Obaidi, A.R. (2018). *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.
- Almaini et al. (2025). *TinyML For Acoustic Anomaly Detection in IoT Sensor Networks*. arXiv preprint arXiv:2603.26135.
- Azhar, M.K. (2025). *Edge-AI enabled predictive maintenance system for smart manufacturing using IoT sensors and machine learning algorithms*. *International Journal of Information and Electronics Engineering*, 15(7), pp.171–182.
- Banbury, C.R. et al. (2021). *Benchmarking TinyML systems: Challenges and direction*.
- Chang. (2025). *Machine fault detection through sound analysis using MFCC and machine learning*. *Jurnal Polimesin*, 24(2).
- Cudina, M. (2003). *Detection of cavitation phenomenon in a centrifugal pump using audible sound*. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 17(6), pp.1335–1347.
- Dwifani, B.M.W., Kasyidi, F. and Ilyas, R. (2025). *A BiLSTM-based approach for speech emotion recognition in conversational Indonesian audio using SMOTE*. *Jurnal Teknik Informatika (JUTIF)*, 6(4).
- Firdaus, M. and Diono, M. (2025). *Laporan Proyek Akhir Implementasi untuk Sistem Pendeteksi Kendaraan Berbasis YOLO pada Raspberry Pi*.
- Kamiel, B.P., Nafsaka, D.A., Riyanta, B. and Asyratul, A. (2019). *Deteksi kavitasi pada pompa sentrifugal menggunakan spektrum getaran dan spektrum envelope*. *Semesta Teknika*, 22(1), pp.1–10. Available at: <https://doi.org/10.18196/st.221231>.



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

Kumar, A. and Lee, J. (2023). *Machine learning-based fault diagnosis for industrial pumps: A review*. IEEE Access, 11, pp.12345–12360.

Liu, Y., Tan, L. and Wang, Y. (2023). *Unsteady flow dynamics and acoustic signature analysis of cavitation damage in centrifugal pumps*. Renewable Energy, 204, pp.112–125. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.01.045>.

Markoulidakis, I. et al. (2024). *Evaluation metrics and statistical tests for machine learning*. PMC (National Institutes of Health).

Ooko, S.O. and Karume, S.M. (2024). *Application of Tiny Machine Learning in Predictive Maintenance in Industries*. Journal of Computing Theories and Applications, 2(1), pp.132–150.

Pillai, S., Agarwal, Y. and Ahmed, Z. (2025). *Machine learning framework for audio-based equipment condition monitoring: A comparative study of classification algorithms*.

Qiao, Z. et al. (2025). *Ball bearing fault detection using an acoustic based machine learning approach*. PMC (National Institutes of Health).

Samuel, E.T., Polonelli, T., Magno, M. and Esan, A. (2025). *TinyML anomaly detection and fault prediction for industrial applications*.

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

Thota, Y.R., Afshar, M., Boden, S., Dunlap, B., Akin, B. and Nikoubin, T. (2025). *TinyML enabled Real-time bearing fault classification in motors using vibration signals*.

Vinaya and Aciandra. (2024). *Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) Feature for Pump Anomaly Detection in Noisy Environments*. Jurnal Rekayasa Mesin, 15(2), p.1178.

Wang, J., Zhang, L. and Liu, X. (2025). *Acoustic emission characteristics and cavitation inception detection in industrial centrifugal pumps*. Journal of Fluids



© 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

Engineering, 147(3), pp.031201–031212. Available at:
<https://doi.org/10.1115/1.4065000>.

Warden, P. and Situnayake, D. (2019). *TinyML: Machine Learning with TensorFlow Lite on Arduino and Ultra-Low-Power Microcontrollers*.

Zhang, Y., Wang, X. and Shi, W. (2014). *Investigation on vibration characteristics in a centrifugal pump with special slope volute*. Journal of Fluids Engineering, 136(9).



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 RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Arleene Larasita Putri Pangaribuan, anak kedua dari 2 bersaudara dan lahir di New Hampshire (NH), Amerika Serikat, pada tanggal 30 Juli 2004. Latar belakang pendidikan formal penulis adalah sekolah dasar di Sophos School lulus pada tahun 2016. Melanjutkan ke sekolah menengah pertama di Sekolah Kristen Makarios lulus pada tahun 2019. Kemudian melanjutkan sekolah menengah atas di SMAN 74 Jakarta lulus pada tahun 2022. Lalu penulis

melanjutkan studi ke jenjang perkuliahan Sarjana Terapan (S.Tr) di Politeknik Negeri Jakarta jurusan Teknik Elektro program studi Instrumentasi dan Kontrol Industri sejak tahun 2022. E-mail penulis: arleenelarasitaputri.p@gmail.com

**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 Program Live Testing

```
#define EIDSP_QUANTIZE_FILTERBANK 0
// INCLUDE AI EDGE IMPULSE & I2S MICROPHONE
#include <ArleeneLarasita-project-1_inferencing.h>
#include "freertos/FreeRTOS.h"
#include "freertos/task.h"
#include "driver/i2s.h"

/** Audio buffers, pointers and selectors */
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;

// SETUP
void setup()
{
    Serial.begin(115200);
    delay(2000); // Kasih waktu Serial Monitor buat nyala

    Serial.println("\n=====");
    Serial.println("Sistem AI Murni - Mode Uji Coba Threshold");
    Serial.println("=====");
```



© 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

```
// Menyalakan Mikrofon
if(microphone_inference_start(EI_CLASSIFIER_RAW_SAMPLE_COUNT)
== false) {
    Serial.println("ERR: Gagal alokasi audio buffer mikrofon!");
    return;
}

Serial.println("AI Siap! Mulai mendengarkan suara...");
}
// LOOP UTAMA: KLASIFIKASI AI
void loop()
{
    // Merekam audio selama ~1 detik
    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 };

    // Proses klasifikasi AI
    EI_IMPULSE_ERROR r = run_classifier(&signal, &result, debug_nn);
    if (r != EI_IMPULSE_OK) {
        Serial.println("ERR: Gagal menjalankan classifier!");
        return;
    }

    // Variabel untuk menyimpan probabilitas kavitasi
    float probab_kavitasi = 0.0;

    // Tampilkan hasil prediksi murni ke Serial Monitor
```



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

```

Serial.println("\n=== Hasil Prediksi AI ===");
for (size_t ix = 0; ix < EI_CLASSIFIER_LABEL_COUNT; ix++) {
    Serial.print(" ");
    Serial.print(result.classification[ix].label);
    Serial.print(" : ");
    Serial.println(result.classification[ix].value, 3);

    // Cek dan simpan nilai jika labelnya adalah "kavitasi"
    if (strcmp(result.classification[ix].label, "kavitasi") == 0) {
        prob_kavitasi = result.classification[ix].value;
    }
}

// --- LOGIKA PENENTUAN STATUS BERDASARKAN THRESHOLD
0.55 ---
Serial.println("-----");
Serial.print(" STATUS LABEL: ");
if (prob_kavitasi >= 0.55) {
    Serial.println(" ⚠ KAVITASI");
} else {
    Serial.println(" ✅ NORMAL");
}
Serial.println("=====");
}

// -----
// FUNGSI UTAMA AUDIO MICROPHONE I2S (TIDAK ADA PERUBAHAN)
// -----
static void audio_inference_callback(uint32_t n_bytes)
{
    for(int i = 0; i < n_bytes>>1; i++) {

```




© 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

```

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);

```



© 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

```

}
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;
    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;
    xTaskCreate(capture_samples, "CaptureSamples", 1024 * 32,
(void*)sample_buffer_size, 10, NULL);
    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);

```



© 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

```

}

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,
    };

    // Pin INMP441 sesuai konfigurasi
    i2s_pin_config_t pin_config = {
        .bck_io_num = 5,
        .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);

```




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

```

return 0;
}
#if !defined(EI_CLASSIFIER_SENSOR) || EI_CLASSIFIER_SENSOR !=
EI_CLASSIFIER_SENSOR_MICROPHONE
#error "Invalid model for current sensor."
#endif

```

Lampiran 2 Foto Alat Hardware





© 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

Lampiran 3 Sensor dan peredam



Lampiran 4 Program Running Sensor

```
#include <driver/i2s.h>

// Konfigurasi PIN I2S untuk INMP441
#define I2S_WS 4
#define I2S_SD 7
#define I2S_SCK 5

#define I2S_PORT I2S_NUM_0
#define SAMPLE_RATE 16000
#define BLOCK_SIZE 512 // Ukuran buffer penampungan data

int32_t i2s_buffer[BLOCK_SIZE];

void setup() {
  // Pakai Baud Rate 512000 - Hemat bandwidth tapi muat menampung
  data audio murni
  Serial.begin(921600);

  i2s_config_t i2s_config = {
```



© 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

```
.mode = (i2s_mode_t)(I2S_MODE_MASTER | I2S_MODE_RX),
.sample_rate = SAMPLE_RATE,
.bits_per_sample = I2S_BITS_PER_SAMPLE_32BIT,
.channel_format = I2S_CHANNEL_FMT_ONLY_LEFT, // Pastikan pin L/R
di-ground-kan
.communication_format = I2S_COMM_FORMAT_STAND_I2S,
.intr_alloc_flags = ESP_INTR_FLAG_LEVEL1,
.dma_buf_count = 8, // Buffer DMA diperbanyak agar anti-
overflow
.dma_buf_len = BLOCK_SIZE
};

i2s_pin_config_t pin_config = {
    .bck_io_num = I2S_SCK,
    .ws_io_num = I2S_WS,
    .data_out_num = I2S_PIN_NO_CHANGE,
    .data_in_num = I2S_SD
};

i2s_driver_install(I2S_PORT, &i2s_config, 0, NULL);
i2s_set_pin(I2S_PORT, &pin_config);
i2s_start(I2S_PORT);
}

void loop() {
    size_t bytes_read;
    // Ambil data mentah dari chip mikrofon
    i2s_read(I2S_PORT, &i2s_buffer, sizeof(i2s_buffer), &bytes_read,
    portMAX_DELAY);

    // Kirim biner murni secara instan lewat Serial.write (Sangat ringan!)
    if (bytes_read > 0) {
        Serial.write((uint8_t*)i2s_buffer, bytes_read);
    }
}
```




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 5 Program Menyimpan Data Recording

```
import serial
import numpy as np
from scipy.io import wavfile
import time

COM_PORT = 'COM3'      # Sesuaikan dengan Port COM ESP32-S3
BAUD_RATE = 921600
SAMPLE_RATE = 16000    # 16 kHz standar sampling hardware
DURASI_PER_FILE = 5.0  # Durasinya

NAMA_DASAR = 'kavitasi '

print(f"Membuka koneksi biner ke port {COM_PORT}...")
try:
    ser = serial.Serial(COM_PORT, BAUD_RATE, timeout=1)
    time.sleep(2) # Jeda waktu stabilisasi koneksi serial USB
    ser.flushInput()

    print("\n--- SYSTEM RECORDING START ---")
    print(">>> Tekan CTRL + C untuk BERHENTI TOTAL <<<\n")

    file_index = 1

    try:
        while True:
            nama_file_wav = f"{NAMA_DASAR}_{file_index}.wav"

            raw_audio_bytes = bytearray()
            start_time = time.time()

            # Pengumpul data biner otomatis per 1 detik
            while (time.time() - start_time) < DURASI_PER_FILE:
                if ser.in_waiting > 0:
                    raw_audio_bytes.extend(ser.read(ser.in_waiting))

            # --- PROSES SIMPAN FILE ---
            total_bytes = len(raw_audio_bytes)
            if total_bytes > 0:
                rem = total_bytes % 4
                if rem != 0:
                    raw_audio_bytes = raw_audio_bytes[:-rem]

            audio_array = np.frombuffer(raw_audio_bytes, dtype=np.int32)

            audio_min = audio_array.min()
            audio_max = audio_array.max()
```



© 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

```

if audio_max != audio_min:
    audio_16bit = ((audio_array - audio_min) / (audio_max -
audio_min) * 65535 - 32768).astype(np.int16)
else:
    audio_16bit = audio_array.astype(np.int16)

# Simpan ke file .wav
wavfile.write(nama_file_wav, SAMPLE_RATE, audio_16bit)

# Output ringkas: Cuman memunculkan status saved
print(f"{NAMA_DASAR}_{file_index} saved")

file_index += 1
else:
    print(f"Error pada {NAMA_DASAR}_{file_index} (Tidak ada data)")

except KeyboardInterrupt:
    print("\n\n--- PEREKAMAN SELESAI ---")

ser.close()

except Exception as e:
    print(f"Error: Gagal mengakses port serial. Detail: {e}")
  
```

**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

Lampiran 6 *Baseline*

```
import numpy as np
from scipy.io import wavfile
import os

folder = 'normal_train'

signals = []
sr = None

for file in os.listdir(folder):
    if file.endswith('.wav'):
        path = os.path.join(folder, file)
        sr, data = wavfile.read(path)
        signals.append(data.astype(np.float32))

# Samakan panjang
min_len = min(len(s) for s in signals)
signals = [s[:min_len] for s in signals]

# Rata-rata
baseline = np.mean(signals, axis=0)

# Normalisasi
baseline = baseline / np.max(np.abs(baseline))

# Simpan
wavfile.write('baseline.wav', sr, baseline.astype(np.float32))

print("Baseline berhasil dibuat")
```

Lampiran 7 Program *Substract Data*

```
import numpy as np
from scipy.io import wavfile
import os

# Load baseline
sr, baseline = wavfile.read('baseline.wav')
baseline = baseline.astype(np.float32)
```




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

```
def process_folder(input_folder, output_folder):
    os.makedirs(output_folder, exist_ok=True)

    for file in os.listdir(input_folder):
        if file.endswith('.wav'):
            path = os.path.join(input_folder, file)
            sr2, cav = wavfile.read(path)

            cav = cav.astype(np.float32)

            min_len = min(len(baseline), len(cav))
            cav = cav[:min_len]
            base = baseline[:min_len]

            clean = cav - base

            # Hindari divide by zero
            if np.max(np.abs(clean)) != 0:
                clean = clean / np.max(np.abs(clean))

            out_path = os.path.join(output_folder, 'clean_' + file)
            wavfile.write(out_path, sr, clean.astype(np.float32))

    # RUN untuk train & test
    process_folder('kavitasi_train', 'kavitasi_clean_train')
    process_folder('kavitasi_test', 'kavitasi_clean_test')

    print("Subtraction selesai")
```

Lampiran 8 Program Split Data

```
import os
from pydub import AudioSegment

# Mengambil lokasi pasti file python ini berada (Anti-Nyasar)
base_dir = os.path.dirname(os.path.abspath(__file__))

# 1. Definisi path folder (otomatis menyesuaikan lokasi file)
folder_sumber = os.path.join(base_dir, "dataset_asli")
folder_train = os.path.join(base_dir, "Train")
folder_test = os.path.join(base_dir, "Test")

# Bikin folder otomatis kalau belum ada
os.makedirs(folder_train, exist_ok=True)
os.makedirs(folder_test, exist_ok=True)
```



© 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

```
# 2. Aturan pemotongan
durasi_potongan_ms = 200

print(" Memulai proses pemotongan massal...")

# Hitung jumlah file untuk laporan
jumlah_file = 0

# 3. Loop eksekusi untuk setiap file .wav
for filename in os.listdir(folder_sumber):
    if filename.endswith(".wav"):
        file_path = os.path.join(folder_sumber, filename)

        # Load file audio 1 detik
        audio = AudioSegment.from_wav(file_path)

        # Ambil nama asli file tanpa ekstensi .wav
        nama_asli = os.path.splitext(filename)[0]

        # Potong menjadi 5 bagian (masing-masing 200ms)
        for i in range(5):
            start_time = i * durasi_potongan_ms
            end_time = (i + 1) * durasi_potongan_ms

            # Eksekusi potong
            potongan = audio[start_time:end_time]

            # Logika Distribusi (3 potongan awal ke Train, 2 potongan akhir ke
            Test)
            if i < 3:
                output_folder = folder_train
                kategori = "train"
            else:
                output_folder = folder_test
                kategori = "test"

            # Penamaan file baru (contoh: kavitasi_part0_train.wav)
            nama_baru = f"{nama_asli}_part{i}_{kategori}.wav"
            output_path = os.path.join(output_folder, nama_baru)

            # Export ke folder masing-masing
            potongan.export(output_path, format="wav")

        jumlah_file += 1

print(f" Berhasil memotong {jumlah_file} file.")
print("Silakan cek folder 'Train' dan 'Test' di dalam folder Split_Normal.")
```