



PEKADA: PENGHITUNG KAYUHAN SEPEDA DAN ESTIMASI KALORI YANG TERBAKAR DENGAN METODE FUZZY LOGIC

Laporan Tugas Akhir

Oleh:

VIA APRILIANO YULIANTO (4242211047)

**Program Studi Teknologi Rekayasa Elektronika
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2026**

Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)

Disusun oleh:
VIA APRILIANO YULIANTO (4242211047)

Tanggal Sidang: 29 Januari, 2026

Dosen Penguji:



1. Nanta Fakhri Prebianto, S.ST.,
M.Sc
NIK: 117182

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing:



1. Dr. Iman Fahrudi, S.T., MT.
NIK: 100007



2. Ririn Humaera, M.Pd
NIK: 124322

PEKADA: PENGHITUNG KAYUHAN SEPEDA DAN ESTIMASI KALORI YANG TERBAKAR DENGAN METODE FUZZY LOGIC

Abstrak

Olahraga bersepeda merupakan salah satu aktivitas fisik yang banyak diminati Masyarakat saat ini. Dalam berolahraga, pemantauan total kalori yang terbakar menjadi hal yang penting untuk mendukung penurunan berat badan serta dapat meningkatkan Kesehatan jantung dan paru-paru. Namun, banyak pesepeda belum memiliki akses terhadap sistem yang mampu menghitung jumlah kayuhan sepeda dan estimasi kalori yang terbakar. Perangkat yang umum tersedia di pasaran seperti *smartwatch* dinilai kurang efektif dalam menghitung kayuhan karena hanya berbasis pada estimasi jarak tempuh. Hal ini menyebabkan ketidakefektifan perhitungan saat melewati jalan menurun di mana sepeda tetap bergerak akibat gaya gravitasi meskipun pesepeda tidak mengayuh. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem perhitungan total kayuhan dan estimasi kalori yang terbakar selama aktivitas bersepeda dengan metode *fuzzy logic* pada sistem pengereman otomatis untuk mencegah aktivitas fisik yang berlebihan. Sistem ini dibangun menggunakan sensor ultrasonik untuk mendeteksi perputaran pedal untuk menghitung total kayuhan sepeda dan mikrokontroller ESP32 sebagai pengolah data untuk menghitung estimasi kalori yang terbakar. Sistem ini mampu menghitung total kayuhan sepeda dan memantau aktivitas fisik pesepeda serta memberikan informasi tingkat intensitas bersepeda secara efektif.

Kata kunci: Olahraga, bersepeda, kalori, kayuhan, *fuzzy*

PEKADA: BICYCLE PEDALS COUNTER AND CALORIES BURNED ESTIMATION USING FUZZY LOGIC METHOD

Abstract

Cycling is a popular physical activity today. Monitoring total calories burned is crucial for weight loss and improving heart and lung health. However, many cyclists lack access to systems capable of calculating pedal strokes and estimating calories burned. Commonly available devices, such as smartwatches, are considered ineffective at calculating pedal strokes because they only rely on distance estimates. This makes the calculation ineffective when navigating downhill slopes, where the bike continues to move due to gravity even when the cyclist is not pedaling. Therefore, this study aims to develop a system for calculating total pedal strokes and estimating calories burned during cycling using fuzzy logic in an automatic braking system to prevent excessive physical activity. This system uses ultrasonic sensors to detect pedal rotation and calculate total pedal strokes, and an ESP32 microcontroller to process data to calculate estimated calories burned. This system is capable of calculating total pedal strokes and monitoring cyclists' physical activity, effectively providing information on cycling intensity levels.

Keywords: Sports, cycling, calories, pedaling, fuzzy

Daftar Isi

Lembar Pengesahan	i
Abstrak	ii
<i>Abstract</i>	iii
Daftar Isi	iv
Daftar Gambar	vi
Daftar Tabel	vii
Bab 1. Pendahuluan	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Manfaat	2
1.5. Batasan Masalah	3
Bab 2. Tinjauan Pustaka	4
2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.2 ESP32	5
2.3 Sensor Ultrasonik HC-SR04	6
2.3 Layar Oled 128x64	7
2.4 Driver <i>Motor Stepper</i> A4988	7
2.5 <i>Push Button</i>	8
2.6 <i>Motor Stepper</i>	8
2.7 Rem Sepeda <i>U Brake</i>	9
Bab 3. Metodologi Penelitian	10
3.1. Perancangan Penelitian	10
3.1.1. Perancangan Perangkat Keras	11
3.1.2. Perancangan Perangkat Lunak	12
3.1.3 Perancangan Desain Elektrikal	14
3.1.4 Rancangan <i>Fuzzy Logic</i>	16

3.1.5 MET (<i>Metabolic Equivalent of Task</i>)	24
3.1.6 Sistem Pengereman Otomatis	29
Bab 4. Hasil dan Pembahasan	31
4.1 Pengujian Sensor Ultrasonik.....	31
4.1.1 Pengujian Akurasi Sensor Ultrasonik	31
4.1.2 Validasi Data Perhitungan Kayuhan.....	32
4.1.3 Pengujian Respon Sudut <i>Motor Stepper</i>	33
4.1.4 Pengujian Kinerja Perhitungan Kalori Berdasarkan Aktivitas Pengayuhan	34
4.1.5 Pengujian Performa RPM dan Kecepatan Terhadap Beban Pengereman	35
4.2 Pembahasan	36
4.2.1 Analisis Akurasi Pembacaan Jarak Sensor	36
4.2.2 Analisis Akurasi Deteksi Kayuhan dan Sensor.....	36
4.2.3 Analisis Respon <i>Motor Stepper</i> Terhadap Ambang Batas Kalori .	37
4.2.4 Analisis Pengujian Kinerja Perhitungan Kalori Berdasarkan Aktivitas Pengayuhan	37
4.2.5 Analisis Dampak Pengereman Terhadap Performa RPM Dan Kecepatan	38
Bab 5. Penutup	39
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran	39
Daftar Pustaka	41
Lampiran	44

Daftar Gambar

Gambar 2. 1 EP32.....	5
Gambar 2. 2 Sensor Ultrasonik HC-SR04.....	6
Gambar 2. 3 Cara Kerja Sensor Ultrasonik	6
Gambar 2. 4 Layar Oled 128x64	7
Gambar 2. 5 Driver Stepper A4988	8
Gambar 2. 6 <i>Push Button</i>	8
Gambar 2. 7 Motor Stepper	9
Gambar 2. 8 Rem <i>U Brake</i>	9
Gambar 3. 1 Tahap Penelitian	10
Gambar 3. 2 Blok Diagram Sistem Kontrol	11
Gambar 3. 3 Desain Mekanikal	12
Gambar 3. 4 <i>Flowchart</i> Sistem	13
Gambar 3. 5 Desain Elektrikal	14
Gambar 3. 6 <i>Membership Function</i> Umur.....	20
Gambar 3. 7 <i>Membership Function</i> Berat Badan	21
Gambar 3. 8 <i>Membership Output Fuzzy</i>	23
Gambar 3. 9 Sistem Kerja Pengereman Otomatis.....	29
Gambar 4. 1 <i>Tachometer Digital</i>	36

Daftar Tabel

Tabel 3. 1 <i>Wiring</i> Desain Elektrikal.....	15
Tabel 3. 2 Klasifikasi Variabel <i>Fuzzy</i>	17
Tabel 3. 3 Basis Aturan <i>Fuzzy</i>	18
Tabel 3. 4 <i>Fuzzy Rule Set</i>	22
Tabel 3. 5 Nilai MET Berdasarkan Kecepatan Bersepeda	24
Tabel 3. 6 Estimasi Kalori Terbakar Dengan Nilai MET 6.8 Durasi ± 30 menit	24
Tabel 3. 7 Estimasi Kalori Terbakar Dengan Nilai MET 8 Durasi ± 30 menit	25
Tabel 3. 8 Estimasi Kalori Terbakar Dengan Nilai MET 10 Durasi ± 30 menit	26
Tabel 3. 9 Estimasi Kalori Terbakar Dengan Nilai MET 12 Durasi ± 30 menit	26
Tabel 3. 10 Estimasi Kalori Terbakar Dengan Nilai MET 16.8 Durasi ± 30 menit ...	27
Tabel 4. 1 Pengujian Sensor Membaca Jarak	31
Tabel 4. 2 Perbandingan Hasil Perhitungan Kayuhan Otomatis dan Perhitungan Manual	33
Tabel 4. 3 Pengujian Respon Motor Stepper Berdasarkan Akumulasi Kalori	33
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Sistem Berdasarkan Aktivitas Pengayuhan	34
Tabel 4. 5 Pengujian Nilai RPM dan Kecepatan Berdasarkan Sudut Pengereman	35

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Saat ini, jumlah orang yang kegemukan dan obesitas terus meningkat[1]. Untuk mengurangi risiko tersebut, saat ini olahraga menjadi tren kalangan masyarakat dan menganggapnya sebagai bagian gaya hidup sehat. Hal ini terjadi karena banyak yang meyakini bahwa olahraga dapat meningkatkan kualitas hidup serta menunjang kesehatan fisik dan mental. Dalam beberapa tahun terakhir, aktivitas olahraga telah berkembang pesat bukan hanya di kalangan atlet saja tetapi juga kalangan masyarakat umum[2].

Bersepeda adalah salah satu dari banyak jenis olahraga yang dapat dilakukan. Bersepeda adalah salah satu jenis aktivitas fisik yang sangat populer yang memiliki efek positif pada kesehatan seseorang. Aktivitas ini tidak hanya menyenangkan tetapi juga membantu tubuh menjadi lebih bugar serta dapat menjaga berat badan ideal dan mengurangi risiko penyakit kronis[3]. Saat bersepeda, salah satu informasi yang dibutuhkan oleh pengendara sepeda ialah total kalori terbakar. Mengontrol kalori dalam tubuh dapat membantu mempertahankan berat badan yang ideal. Kalori ialah Jumlah energi yang terkandung dalam makanan[4]. Kalori yang masuk dapat berasal dari makanan, sementara kalori yang keluar dapat berasal dari aktivitas fisik seperti bersepeda [5]. Oleh karena itu perhitungan kalori yang terbakar selama bersepeda menjadi aspek penting dalam mendukung gaya hidup sehat serta pengelolaan berat badan secara efektif.

Dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya olahraga, masyarakat semakin membutuhkan alat bantu yang dapat memantau aktivitas fisik, seperti menghitung jumlah putaran sepeda dan estimasi kalori yang terbakar. Namun, karena keterbatasan alat yang dapat merekam dan menganalisis data, banyak pengendara sepeda kesulitan mengetahui seberapa efektif kegiatan bersepeda mereka. Beberapa alat yang beredar dipasaran seperti *smartwatch* kurang efektif untuk menghitung putaran sepeda karena hanya menghitung dari estimasi jarak tempuh. Perhitungan jadi kurang efektif saat melewati jalan menurun. Pengendara sepeda umumnya tidak mengayuh sepeda karena gaya gravitasi menarik sepeda kebawah dan menyebabkan sepeda tetap bergerak meskipun sepeda tidak dikayuh. Solusi yang diinginkan adalah sebuah perangkat yang

murah dari perangkat yang dijual dipasaran seperti *smartwatch* dan mudah saat proses pemasangan pada sepeda serta tetap dapat mencatat jumlah kayuhan sepeda dan estimasi kalori yang terbakar dengan mempertimbangkan parameter aktivitas pengguna agar tidak berlebihan dalam bersepeda [6].

Berdasarkan isu yang ada dimasyarakat diusulkan sebuah penelitian dengan judul “*PEKADA: PENGHITUNG KAYUHAN SEPEDA DAN ESTIMASI KALORI YANG TERBAKAR DENGAN METODE FUZZY LOGIC*”. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini salah satunya pengendara sepeda dapat memantau aktivitas kayuhan selama bersepeda dan pembakaran kalori yang terbakar agar tidak berlebihan selama bersepeda.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang alat yang mampu menghitung total kayuhan sepeda secara *real-time*
2. Bagaimana mengintegrasikan sensor dengan perangkat untuk mengukur parameter yang relevan seperti jumlah kayuhan dan total kalori.

1.3. Tujuan

1. Merancang dan mengembangkan alat penghitung total kayuhan sepeda yang dapat mengukur jumlah kayuhan sepeda
2. Mengintegrasikan teknologi sensor dengan perangkat elektronik untuk memantau aktivitas fisik selama bersepeda.

1.4. Manfaat

1. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya dalam bidang perangkat pemantauan aktivitas fisik berbasis sensor.
2. Menyediakan alat yang sederhana, mudah digunakan, dan terjangkau bagi masyarakat.
3. Menjadi referensi bagi penelitian lebih lanjut mengenai perancangan alat penghitung kayuhan sepeda dan penghitungan kalori yang terbakar.
4. Mendukung upaya peningkatan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya aktivitas fisik untuk menjaga kesehatan dan kebugaran tubuh.
5. Mendorong penggunaan teknologi sederhana untuk memotivasi

masyarakat dalam menjaga pola hidup sehat.

6. Menjadi alternatif yang lebih ekonomis dibandingkan perangkat pemantau olahraga lainnya yang sudah ada di pasaran

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pengembangan alat ini difokuskan pada penggunaan model pengereman *U-brake* sebagai sistem pengereman otomatis, sehingga rancangan mekanik aktuator tidak ditujukan untuk tipe pengereman lain seperti *disc brake* atau *V-brake*. Selain itu, sistem perhitungan estimasi kalori yang terbakar hanya dirancang untuk penggunaan pada lintasan datar. Alat ini belum memiliki kemampuan untuk mendeteksi perubahan kemiringan medan sehingga pada kondisi lintasan menanjak, estimasi kalori yang terbakar akan menunjukkan hasil yang tidak sesuai dengan tenaga sebenarnya yang dikeluarkan oleh pengguna.

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1 Tinjauan Pustaka

Penyusunan laporan tugas akhir ini merujuk pada tiga jurnal sebagai literatur. Penelitian pertama berjudul “Penghitung langkah kaki dan jumlah kalori menggunakan sensor akselerometer” membahas tentang perancangan alat yang mampu menghitung total langkah kaki dan estimasi kalori yang terbakar secara real-time menggunakan sensor akselerometer. Sistem ini menggunakan Arduino Nano sebagai pengolah data dari sensor akselerometer. Proses pengolahan data dilakukan dengan menghitung varians dari masing-masing sumbu sehingga membentuk sinyal baru yang digunakan dalam menghitung langkah kaki berdasarkan nilai ambang batas tertentu. Hasil perhitungan langkah kaki dan estimasi kalori yang terbakar dikirimkan ke *smartphone*. Berdasarkan 18 kali percobaan, alat mampu menunjukkan nilai akurasi dengan rata – rata 91,48%. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan sensor akselerometer dapat menjadi metode efektif untuk menghitung langkah kaki dan estimasi kalori yang terbakar berdasarkan data dari jumlah langkah kaki.

Penelitian kedua berjudul “Aplikasi penghitung kalori terbakar saat berolahraga sepeda menggunakan *Global Positioning System* (GPS) berbasis Android”. Prinsip kerja alat ini menggunakan aplikasi Android di mana tampilan awal pada aplikasi, pengguna dituntun untuk mengisi data jenis kelamin, berat badan dan tinggi badan. Selanjutnya, aplikasi meminta pengguna mengaktifkan GPS pada *smartphone* agar aktivitas bersepeda dapat dipantau. Data yang dihasilkan dari GPS meliputi kecepatan, jarak, waktu, dan total kalori terbakar. Untuk menghitung kalori yang terbakar, terdapat rumus $EC = \{[MET \times 7.7 \times BB \text{ (pound)}] / 200\} \times \text{waktu berolahraga}$. Pengujian penghitungan kalori terbakar yang dilakukan secara manual maupun real time juga sesuai [6].

Penelitian yang ketiga berjudul “Monitoring kalori yang terbakar pada penggunaan sepeda statis berbasis Arduino”. Dalam penelitian ini, peneliti membuat alat monitoring pembakaran kalori pada tubuh saat berolahraga menggunakan sepeda statis. Perancangan alat ini menggunakan komponen seperti sensor *infrared* yang digunakan untuk mengukur kecepatan pada saat bersepeda statis yang diletakkan untuk menangkap objek roda sepeda dan Arduino uno sebagai pengolah data. Pengujian melibatkan 3 responden yang melakukan 6 kali percobaan dengan 2 kecepatan berbeda. Dari data pengujian

menampilkan grafik yang menunjukkan bahwa semakin besar berat badan seseorang, maka pembakaran kalori akan semakin besar [8].

Berdasarkan kajian literatur yang relevan, maka muncul ide untuk membuat *PEKADA: Penghitung Kayuhan Sepeda dan Estimasi Kalori yang Terbakar Dengan Metode Fuzzy Logic* sebagai pengembangan dari referensi ke tiga yang tidak memiliki sistem untuk menghitung total kayuhan serta pengaplikasiannya pada sepeda kayuh. Selain menambahkan sistem untuk menghitung kayuhan, terdapat sistem pengereman otomatis dengan menggunakan metode *fuzzy logic* sebagai pencegahan dari aktivitas bersepeda yang berlebihan. Motor Stepper digunakan untuk menggerakkan *shaft* untuk maju mendorong ke arah rem *U-brake* untuk menghentikan aktivitas bersepeda sejenak ketika sudah mencapai pembakaran kalori dalam batas aman.

2.2 ESP32

ESP32 adalah modul mikrokontroler Wi-Fi dan Bluetooth yang dikembangkan oleh Espressif Systems sebagai penerus dari ESP8266. Modul ini memiliki dua inti prosesor (*dual-core CPU*) dengan kecepatan hingga 160 Mhz serta dilengkapi dengan RAM 520 KB, memori internal, dan fitur pemrosesan sinyal digital (*Digital Signal Processing*).

ESP32 sering digunakan dalam proyek-proyek *Internet of Things* karena modul ini mendukung *deep sleep mode* untuk efisiensi daya serta bisa diprogram menggunakan bahasa C atau C++ dengan banyak *library* yang tersedia [10].



Gambar 2. 1 ESP32

Dalam sistem ini, ESP32 berfungsi sebagai unit kendali utama yang mengintegrasikan berbagai parameter aktivitas pengguna dan keamanan. Mikrokontroler ini mengolah data mentah dari sensor untuk menghitung frekuensi kayuhan secara *real-time* yang kemudian dikonversikan menjadi nilai *Metabolic Equivalent of Task* (MET) guna menentukan intensitas beban kerja fisik. Berdasarkan data tersebut, ESP32 melakukan komputasi untuk memberikan estimasi kalori yang terbakar. Selain mengolah data estimasi kalori yang terbakar,

ESP32 juga menjalankan algoritma proteksi melalui analisis parameter pengereman otomatis di mana sistem akan mengirimkan sinyal kendali kepada *motor stepper* jika hasil pemrosesan data sensor menunjukkan nilai kalori sesuai parameter yang ditentukan.

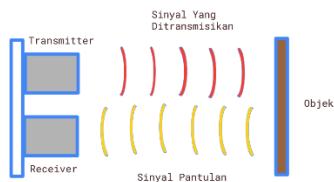
2.3 Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor ultrasonik adalah alat elektronik yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik melalui gelombang suara ultrasonik. Salah satu sensor ultrasonik yang paling umum digunakan adalah sensor HC-SR04 yang terdiri dari rangkaian pemancar ultrasonik (*transmitter*) dan penerima (*receiver*). Mempunyai empat pin dengan jarak yang dapat ditangani berkisar antara 2 cm hingga 400 cm. Memiliki tingkat presisi 0,3 cm, dan sudut deteksi tidak lebih dari 15°. Arus yang diperlukan tidak lebih dari 2 mA, dan tegangan yang diperlukan adalah +5V [11].



Gambar 2. 2 Sensor Ultrasonik HC-SR04

Secara umum, alat ini akan menembakkan gelombang ultrasonik menuju suatu area atau suatu target. Setelah gelombang menyentuh permukaan target, maka target akan memantulkan kembali gelombang tersebut. Gelombang pantulan dari target akan ditangkap oleh sensor kemudian sensor menghitung selisih antara waktu pengiriman gelombang dan waktu gelombang pantul diterima. Dapat dilihat pada gambar 2.2 cara kerja sensor ultrasonik:



Gambar 2. 3 Cara Kerja Sensor Ultrasonik

Detail cara kerja sensor ultrasonik HC-SR04 :

- Pemancar ultrasonik memancarkan sinyal dengan frekuensi tertentu dan dalam jangka waktu tertentu. Frekuensi di atas 20 kHz tidak digunakan untuk mengukur jarak benda (sensor jarak), tetapi frekuensi yang umum digunakan adalah 40 kHz.
- Sinyal yang dipancarkan akan merambat sebagai gelombang bunyi dengan kecepatan sekitar 340 m/s ketika sinyal mengenai suatu benda.
- Setelah gelombang pantulan tiba di perangkat penerima, sinyal tersebut diproses untuk menghitung jarak objek dari perangkat tersebut. Rumus berikut digunakan untuk menghitung jarak benda:

$$S = 340.t/2.$$

Di mana S merupakan jarak antara sensor ultrasonik dengan benda (bidang pantul), dan t adalah selisih antara waktu pemancaran gelombang oleh *transmitter* dan waktu ketika gelombang pantul diterima *receiver*.

2.3 Layar Oled 128x64

Layar OLED (*Organic Light-Emitting Diode Display*) adalah jenis layar yang menggunakan material organik pemancar cahaya untuk menampilkan gambar atau teks tanpa memerlukan lampu latar (*backlight*). Display Oled dapat digunakan untuk mengeluarkan *output* dari modul Arduino atau mikrokontroler lainnya. Kelebihan OLED adalah bahwa mereka menghemat daya karena tidak memerlukan cahaya *background* dan memiliki kontras piksel yang tajam. Sebaliknya, kekurangannya adalah ukurannya yang relatif kecil dibandingkan LCD grafis lainnya [12].

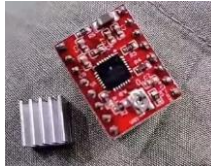


Gambar 2. 4 Layar Oled 128x64

2.4 Driver Motor Stepper A4988

Driver *motor stepper* A4988 adalah perangkat elektronik yang mengontrol pergerakan *motor stepper* dalam berbagai proyek seperti

printer 3D atau mesin CNC. Driver ini memungkinkan pengguna untuk mengatur arus motor, menentukan langkah-langkah motor, dan mengontrol arah gerakan. Dengan ukuran yang kecil dan antarmuka yang sederhana, driver ini mudah diintegrasikan dalam berbagai aplikasi elektronik [13].



Gambar 2. 5 Driver Stepper A4988

2.5 Push Button

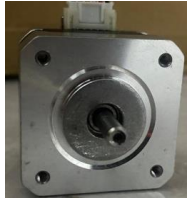
Push button adalah perangkat/saklar sederhana yang berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan aliran arus listrik dengan sistem kerja tekan unlock (tidak mengunci). Saat tombol ditekan (dilepas), saklar akan bekerja sebagai perangkat penghubung atau pemutus, dan saat tombol tidak ditekan (dilepas), maka saklar akan kembali ke kondisi normal [14].



Gambar 2. 6 Push Button

2.6 Motor Stepper

Motor stepper adalah jenis motor listrik yang bergerak dalam langkah-langkah diskrit (*step*). Tidak seperti motor DC biasa yang berputar secara kontinu, *motor stepper* bergerak dalam *increment* tertentu, sehingga memungkinkan kontrol posisi, kecepatan, dan arah secara presisi tanpa memerlukan sensor umpan balik (*feedback*) meskipun pada sistem modern juga bisa digabung dengan *closed-loop control* [15].



Gambar 2. 7 Motor Stepper

2.7 Rem Sepeda U Brake

Rem *cantilever* tradisional menggunakan dua kabel. Satu kabel utama yang berjalan di sepanjang garis tengah sepeda, dan satu kabel kedua, "melintang" yang menghubungkan unit *cantilever* di setiap sisi roda. Kabel utama akan menarik ke atas di tengah kabel melintang, menyebabkan unit kantilever berputar ke dalam.

Cantilever "direct pull" adalah desain yang lebih sederhana, menggunakan hanya satu kabel. Rumah kabel terhubung ke satu lengan, dan kabel dalam melintasi bagian atas ban ke lengan yang berlawanan. Ketika rem diterapkan, rumah kabel mendorong satu *cantilever* sementara kabel dalam menarik yang lainnya [17].

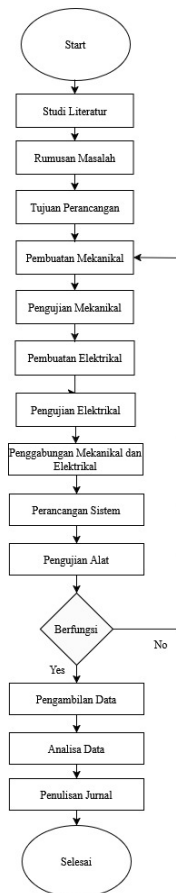


Gambar 2. 8 Rem U Brake

Bab 3. Metodologi Penelitian

3.1. Perancangan Penelitian

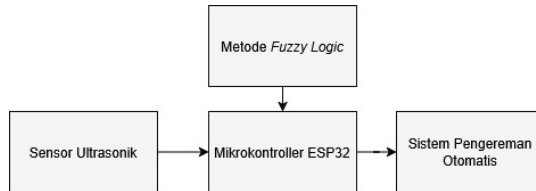
Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk menyelesaikan masalah secara terstruktur. tahapan penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Tahap Penelitian

3.1.1. Perancangan Perangkat Keras

Desain mekanik alat ini hanya memasang sensor ultrasonik pada rangka sepeda pada bagian kanan dan dihadapkan ke pedal sepeda serta bagian tengah pada setang sepeda diletakkan *box control* yang di dalamnya terdapat ESP32 dan driver stepper a4988. Sedangkan *motor stepper* dipasang menghadap rem *u-brake* sebagai sistem pengereman otomatis.



Gambar 3. 2 Blok Diagram Sistem Kontrol

a. Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik dipasang menghadap pedal sepeda yang berfungsi untuk menghitung total kayuhan sepeda berdasarkan pembacaan sensor terhadap pedal sepeda.

b. ESP32

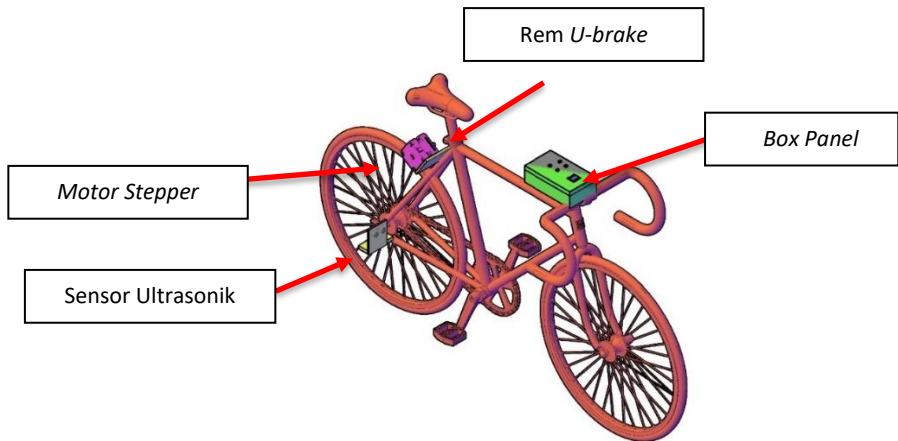
ESP32 berfungsi untuk menerima data dari sensor ultrasonik yang kemudian diolah untuk diklasifikasikan menggunakan metode *fuzzy logic*

c. Metode *Fuzzy Logic*

Metode *fuzzy logic* digunakan untuk membuat keputusan berdasarkan aturan total pembakaran kalori selama bersepeda dalam batas aman.

d. Sistem Pengereman Otomatis

Output dari *fuzzy logic* sinyal yang akan diteruskan ke driver stepper a4988 untuk mengontrol putaran motor untuk menggerakkan aktuator menekan rem *U-brake* pada sepeda ketika perhitungan kalori dalam batas maksimal. Pengendara sepeda diminta untuk beristirahat 5 menit. Selama beristirahat, pendorong *motor stepper* perlahan akan bergerak mundur menjauhi rem *U-brake* dan pesepeda bisa melanjutkan aktivitas bersepedanya kembali.



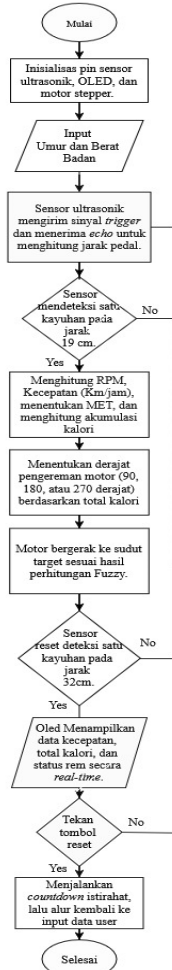
Gambar 3. 3 Desain Mekanikal

Dari gambar desain mekanikal di atas terdapat *box panel* yang di dalamnya berisi mikrokontroler ESP32 dan driver stepper motor A4988. Sedangkan pada posisi tutup panel terdapat 4 *push button* dan 1 layar OLED 128x64. *Box panel* memiliki ukuran 85 x 147 mm dan diletakkan pada posisi tengah *handlebar*.

Posisi sensor ultrasonik dipasang pada bagian sisi kanan rangka sepeda dan dihadapkan ke pedal sepeda untuk menghitung jumlah kayuhan. Sedangkan *motor stepper* diletakkan menghadap ke sistem pengereman *U-brake* sebagai *output* dari *fuzzy system* pengereman otomatis

3.1.2. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak dalam hal ini sangat berperan penting dalam sistem kerja serta pengontrolan proses kerja dari alatnya. Cara kerja dari perangkat lunak dapat dilihat dari gambar berikut :



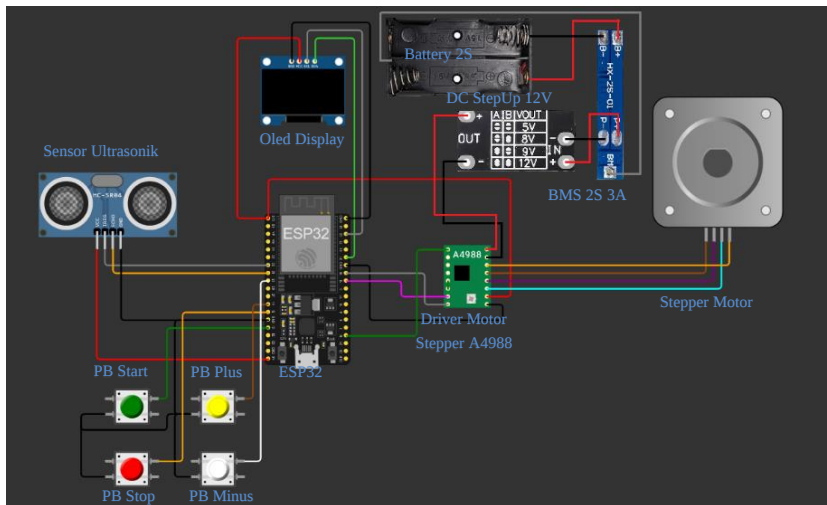
Gambar 3. 4 Flowchart Sistem

Langkah awal cara kerja perangkat lunak adalah pengendara sepeda menekan tombol *start* untuk memulai kemudian mengisi umur serta berat badan dan mulai bersepeda. Saat bersepeda, sensor ultrasonik membaca putaran pedal dan mulai menghitung total kayuhan dan nilai *MET*-nya. Hasil dari nilai *MET*

tersebut akan diproses agar dapat mengetahui intensitas selama bersepeda yang nantinya akan digunakan untuk menghitung estimasi kalori yang terbakar dalam batas aman.

3.1.3 Perancangan Desain Elektrikal

Pada desain elektrikal menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler, Sensor ultrasonik sebagai pendeteksi pedal sepeda, Oled sebagai *display*, Driver stepper motor A4988 sebagai pengontrol pergerakan *motor stepper*.



Gambar 3. 5 Desain Elektrikal

Desain elektrikal menggambarkan hubungan antar komponen elektronik dalam sistem sehingga aliran daya dan sinyal dapat dipahami dengan jelas. Pada gambar 3.5 mikrokontroler ESP32 berperan sebagai pusat pengendali yang menerima data dari sensor dan memberikan perintah ke *motor stepper* serta modul tampilan.

Sensor dihubungkan ke pin input ESP32 dan *supply* tegangan dari VCC dan GND. Data dari sensor dikirimkan ke ESP32 melalui GPIO yang telah ditentukan. Selanjutnya modul tampilan OLED dihubungkan menggunakan jalur komunikasi SDA dan SCL serta pin daya. Tampilan ini digunakan untuk menampilkan informasi hasil pemrosesan data secara *real-time*.

Push button dihubungkan ke pin input ESP32 sebagai input umur dan berat badan serta kontrol pengguna dengan konfigurasi *pull-up* atau *pull-down*.

Driver motor dihubungkan ke ESP32 melalui pin *STEP* dan *DIR* sebagai sinyal kendali *motor stepper*. Sedangkan pin *ENABLE* digunakan untuk mengaktifkan atau menonaktifkan *motor stepper*. *Motor stepper* terhubung langsung ke *output driver*, sementara itu driver mendapat *supply* daya dari baterai 2 *cell* yang sudah di *step-up* menjadi 12 V.

Tabel 3. 1 Wiring Desain Elektrikal

No.	Komponen	Pin Komponen	Pin Mikrokontroler	Keterangan
1	Sensor Ultrasonik HC-SR04	VCC	5V	<i>Supply</i> tegangan
		GND	GND	Ground
		Trig	GPIO32	Mengirim sinyal ultrasonic (pulse)
		Echo	GPIO33	Menerima pantulan gelombang ultrasonik
2	<i>Push Button</i> Start (hijau)	2:1r	GPIO13	Tombol Start
		2:2l	GND	Ground
3	<i>Push Button</i> Stop (merah)	2:1r	GPIO12	Tombol Stop
		2:2l	GND	Ground
4	<i>Push Button</i> Plus (kuning)	2:1r	GPIO14	Input Nominal Plus
		2:2l	GND	Ground
5	<i>Push Button</i> Plus (putih)	2:1r	GPIO25	<i>Input</i> Nominal Minus
		2:2l	GND	Ground
6	Monochrome 128x64 Oled Display I2C	VCC	5V	<i>Supply</i> tegangan
		GND	GND	Ground
		SDA	GPIO21	Serial Data
		SCL	GPIO22	Serial <i>Clock</i>
7	Driver <i>Motor Stepper</i> A4988	STEP	GPIO18	Mengatur jumlah langkah motor
		DIR	GPIO19	Mengatur arah putaran motor
		ENA	GPIO15	Mengaktifkan/ Menonaktifkan Motor

No.	Komponen	Pin Komponen	Pin Mikrokontroler	Keterangan
		VCC	5V	<i>Supply</i> tegangan
		GND	GND	Ground
8	Motor Stepper	A-	Drv1 2A	Pin 1 Kumparan A
		A+	Drv1 1A	Pin 2 Kumparan A
		B+	Drv1 1B	Pin 1 Kumparan B
		B-	Drv1 2B	Pin 2 Kumparan B
9	BMS 2S Lithium <i>Battery</i> 18650	BM	Titik sambungan antara <i>cell</i> 1 dan <i>cell</i> 2	Monitoring tegangan batrai
		B+	Kutub positif <i>cell</i>	Kutub positif <i>cell</i>
		B-	Kutub negatif <i>cell</i>	Kutub negatif <i>cell</i>
		P+	<i>Input (+) DC Stepup</i>	<i>Input (+) DC Stepup</i>
		P-	<i>Input (-) DC Stepup</i>	<i>Input (-) DC Stepup</i>
10	DC <i>Stepup</i> 12V	Out+	Vmot driver motor	Tegangan (+) untuk <i>supply</i> driver motor
		Out-	GND driver motor	Tegangan (-) untuk <i>supply</i> driver motor

Pada rangkaian pada gambar 3.5 terdapat BMS (*Battery Management System*) yang berfungsi sebagai proteksi arus lebih dan penyeimbang *cell*. BMS mendapat *supply* dari baterai lithium 18650 dan *output* nya di hubungkan ke DC *stepup* yang *output* tegangannya menjadi 12V untuk dihubungkan ke pin Vmot driver motor stepper.

3.1.4 Rancangan Fuzzy Logic

Rancangan sistem fuzzy ini menggunakan *fuzzy inference system (FIS)* tipe Mamdani. Penelitian ini bertujuan untuk mengatur intensitas aktivitas pengguna sepeda agar tidak berolahraga secara berlebihan melalui sistem pengereman otomatis. Metode *fuzzy logic* dipilih karena kemampuannya dalam menangani ketidakpastian data pada variabel kecepatan dan beban kerja fisik.

Input utama sistem ini adalah total estimasi kalori yang dihitung berdasarkan kecepatan dan berat badan. Variabel berat badan digunakan sebagai parameter utama karena pengeluaran energi (VO_2) berbanding lurus dengan massa tubuh pengguna sesuai dengan standar fisiologi dari *American College of Sport Medicine* (ACSM) [24]. Data tersebut kemudian diproses bersama variabel umur yang merujuk pada teori metabolisme Harris-Benedict. Variabel ini berfungsi sebagai faktor koreksi terhadap penurunan laju metabolisme basal (*Basal Metabolic Rate*) dan kapasitas fisik maksimal yang terjadi seiring bertambahnya usia [40].

Selain faktor biologis, variabel jumlah kayuhan digunakan untuk menentukan intensitas kerja mekanis (*work rate*). Merujuk pada standar *American College of Sport Medicine* (ACSM), jumlah kayuhan merupakan komponen penting dalam menghitung konsumsi oksigen di mana peningkatan frekuensi kayuhan berbanding lurus dengan peningkatan laju metabolisme energi [41].

Output dari sistem ini adalah pergerakan *motor stepper* yang mengatur posisi aktuator yang dipasang pada rem *U-brake* untuk memberikan hambatan kayuhan secara otomatis. Hal ini bertujuan sebagai pengingat fisik agar pesepeda beristirahat guna mengurangi risiko kelelahan ekstrem dan kecelakaan akibat penurunan konsentrasi [16].

Sistem dikembangkan dengan tiga variabel input diantaranya total kalori yang terbakar, berat badan dan umur. Variabel–variabel tersebut diklasifikasikan ke dalam beberapa himpunan *fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan berbentuk segitiga dan trapezium untuk mendapatkan derajat keanggotaan yang akurat. Klasifikasi rentang nilai untuk setiap variabel dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut:

Tabel 3. 2 Klasifikasi Variabel Fuzzy

Variabel	Kategori	Rentang
Kalori	Rendah	0 – 194 kcal
	Sedang	195 – 611 kcal
	Tinggi	≥612 kcal
Umur	Muda	5-34 tahun
	Paruh baya	35-59 tahun
	Lansia	≥60 tahun
Berat badan	Ringan	20-50kg
	Sedang	51-69kg

Variabel	Kategori	Rentang
	Berat	≥70kg

Fungsi keanggotaan berbentuk segitiga digunakan untuk merepresentasikan masing–masing kategori. Basis aturan *fuzzy* dirancang untuk mempertimbangkan ketiga input utama (kalori, berat badan, dan umur) sebagaimana terlihat pada tabel 3.3

Tabel 3. 3 Basis Aturan Fuzzy

No	Kalori	Berat Badan	Umur	Output Pengereman	Keterangan
1	Rendah	Ringan	Muda	Tanpa Pengereman (0°)	Kondisi awal latihan
2	Rendah	Sedang	Paruh baya	Tanpa Pengereman (0°)	Belum mencapai target
3	Rendah	Berat	Lansia	Pengereman 25% (90°)	Pengereman dini (<i>Safety</i>)
4	Sedang	Ringan	Muda	Pengereman 25% (90°)	Intensitas rendah
5	Sedang	Sedang	Paruh Baya	Pengereman 50% (180°)	Intensitas sedang
6	Sedang	Berat	Lansia	Pengereman 100% (270°)	<i>Safety Limit</i> (Lansia)
7	Tinggi	Ringan	Muda	Pengereman 50% (180°)	Akumulasi energi cukup
8	Tinggi	Sedang	Paruh Baya	Pengereman 100% (270°)	Target harian tercapai
9	Tinggi	Berat	Lansia	Pengereman 100% (270°)	Pengereman maksimal

Berdasarkan referensi dalam buku *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription* yang dipublikasikan resmi oleh *American College of Sport Medicine (ACSM)*, Untuk menghitung estimasi kalori yang terbakar per menit selama aktivitas fisik berdasarkan nilai *MET* adalah sebagai berikut:

$$\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1} = \frac{\text{MET} \times 3.5 \times \text{berat badan (kg)}}{1000} \times 5$$

Dalam rumus ini, angka 3.5 menunjukkan nilai konsumsi oksigen dalam kondisi istirahat yaitu sebesar $3.5 \text{ mL.kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Nilai ini dikalikan berat badan dalam satuan kilogram (kg) dan nilai *MET* dari aktivitas yang dilakukan untuk mendapatkan total konsumsi oksigen per menit (mL). Hasil tersebut kemudian dibagi 1000 untuk mengubah satuan mililiter (mL) ke liter, karena satu liter sama dengan 1000mL. Selanjutnya hasil tersebut dikalikan 5 yang merupakan konstanta konversi energi secara fisiologis karena setiap satu liter oksigen yang dikonsumsi tubuh setara dengan pembakaran energi sebesar 5 kcal.

Untuk memperoleh estimasi energi yang terbakar per kayuhan sepeda, nilai energi per menit dibagi dengan jumlah kayuhan dalam satu menit. Dengan demikian energi per kayuhan dapat dihitung menggunakan rumus:

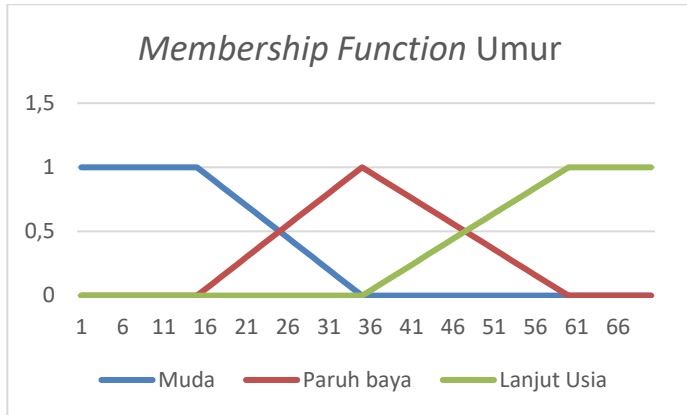
$$\text{kcal/kayuhan} = \frac{\text{kcal/menit}}{\text{RPM}}$$

Pendekatan ini memungkinkan sistem mengakumulasi total energi terbakar secara progresif berdasarkan setiap putaran pedal yang terdeteksi oleh sensor. Hal ini memberikan data bagi sistem kontrol untuk menentukan tingkat pengereman otomatis pada sudut *motor stepper* yang telah ditentukan.

1) Rancangan *Membership*

Dalam tahap fungsi keanggotaan ini terdapat elemen keanggotaan yang berfungsi sebagai input dari nilai umur dan berat badan.

a. *Membership Function* Umur



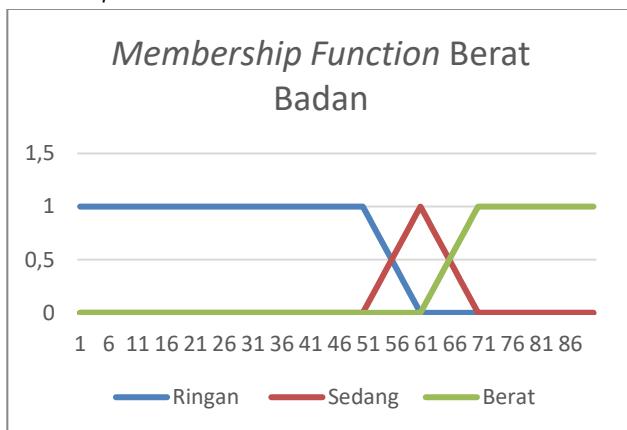
Gambar 3. 6 Membership Function Umur

Berdasarkan gambar 3.6, fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk variabel umur dibagi ke dalam tiga kategori yaitu muda, paruh baya, dan lanjut usia, di mana masing-masing kategori direpresentasikan dengan bentuk kurva trapesium dan segitiga. Kategori muda memiliki derajat keanggotaan $\mu=1$ pada rentang umur 1 hingga 15 tahun. Setelah melewati umur 15 tahun, nilai keanggotaannya menurun secara linear hingga mencapai titik 0 pada umur 35 tahun, yang menunjukkan transisi secara bertahap keluar dari kategori muda.

Kategori paruh baya direpresentasikan dengan kurva segitiga yang mulai meningkat secara linear dari umur 16 tahun dan mencapai puncak derajat keanggotaan $\mu=1$ tepat pada umur 35 tahun. Setelah mencapai puncak tersebut, nilai keanggotaannya mulai menurun secara bertahap dan mencapai titik 0 pada saat pengguna memasuki umur 60 tahun.

Sementara itu, kategori lanjut usia mulai mengalami peningkatan derajat keanggotaan secara linear mulai dari umur 36 tahun dan mencapai nilai maksimum $\mu=1$ pada umur 60 tahun. Nilai keanggotaan maksimum ini dipertahankan secara konstan untuk umur 60 tahun hingga rentang umur lebih dari 70 tahun.

b. *Membership Function Berat badan*



Gambar 3. 7 Membership Function Berat Badan

Berdasarkan Gambar 3.7, fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk variabel berat badan diklasifikasikan ke dalam tiga kategori yaitu ringan, sedang, berat dengan menggunakan kombinasi bentuk kurva trapezium dan segitiga. Kategori ringan direpresentasikan dengan kurva trapesium yang memiliki derajat keanggotaan $\mu=1$ pada rentang berat 1kg sampai 50 kg. Memasuki berat badan 51kg, nilai keanggotaannya mulai menurun secara linear hingga mencapai titik 0 pada berat badan 60kg yang menandakan bahwa pada titik tersebut pengguna sudah tidak lagi termasuk dalam kategori ringan.

Kategori sedang digambarkan dengan kurva segitiga yang mulai mengalami peningkatan derajat keanggotaan secara linear dari titik berat badan 51kg hingga mencapai puncak $\mu=1$ tepat pada berat badan 60kg. Setelah mencapai titik Pundak, derajat keanggotaannya menurun Kembali secara linear dan menvapai titik 0 pada berat badan 71kg. Hal ini menunjukkan transisi bertahap dari pengguna dari kategori sedang menuju kategori berat.

Sementara itu, kategori berat mulai mengalami peningkatan derajat keanggotaan secara linear dari berat badan 61kg dan mencapai nilai maksimum $\mu=1$ pada titik berat badan 71kg. Nilai keanggotaan maksimum ini dipertahankan secara konstan untuk berat badan 71kg hingga rentang berat badan lebih dari 86kg.

c. *Fuzzy Rule*

Basis aturan *fuzzy (fuzzy rule set)* dirancang sebagai mesin inferensi untuk menentukan tindakan pengereman otomatis berdasarkan kombinasi parameter umur, berat badan, dan estimasi kalori yang terbakar. Aturan ini menggunakan operator AND untuk menghubungkan ketiga variabel input tersebut.

Tabel 3. 4 Fuzzy Rule Set

No	Umur	Berat Badan	Pembakaran Kalori	<i>Output</i>
1	5-34 tahun	20-50kg	≥ 195 kcal	Pengereman 25 %
2	5-34 tahun	51-69kg	≥ 320 kcal	Pengereman 50%
3	5-34 tahun	≥ 70 kg	≥ 612 kcal	Pengereman 100%
4	35-59 tahun	20-50kg	≥ 195 kcal	Pengereman 25%
5	35-59 tahun	51-69kg	≥ 320 kcal	Pengereman 50%
6	35-59 tahun	≥ 70 kg	≥ 612 kcal	Pengereman 100%
7	≥ 60 tahun	20-50kg	≥ 195 kcal	Pengereman 25%
8	≥ 60 tahun	51-69kg	≥ 320 kcal	Pengereman 100%
9	≥ 60 tahun	≥ 70 kg	≥ 612 kcal	Pengereman 100%

Tabel 3.4 digunakan sebagai pedoman bagi sistem untuk menentukan tingkat hambatan kayuhan. Penentuan aturan didasarkan pada nilai singleton dari total pembakaran kalori yang dideteksi secara *real-time*

Sebagai contoh pada pengguna kategori muda, saat pembakaran kalori mencapai 195kcal, sistem menetapkan pengereman pada level 25% yang masuk dalam kategori aman sehingga pengguna tetap dapat melanjutkan aktivitas dengan beban ringan. Namun, terdapat perlakuan khusus pada kategori lanjut usia ketika pembakaran kalori mencapai 320 kcal. Pengereman langsung ditingkatkan menjadi 100% (berhenti) meskipun berada pada berat badan sedang. Hal ini bertujuan agar pengguna lanjut usia segera beristirahat sesuai durasi yang ditentukan untuk mengurangi risiko kelelahan ekstrem atau gangguan kesehatan lainnya.

d. *Membership Function Output*



Gambar 3. 8 Membership Output Fuzzy

Berdasarkan Gambar 3.8 fungsi keanggotaan *output* pada sistem *fuzzy* ini menggunakan tipe *singleton*. Berbeda dengan kurva input yang memiliki nilai derajat keanggotaan, tipe *singleton* memberikan nilai tegas pada titik tertentu yang berfungsi sebagai instruksi langsung bagi *motor stepper*. Nilai *output* tersebut diklasifikasikan ke dalam empat kategori pengereman sebagai berikut:

- Diam (0 kcal) merupakan kondisi awal di mana sistem tidak memberikan beban pengereman sama sekali pada pesepeda
- Aman (195 kcal) sistem memberikan sinyal pengereman level 1 (25%) yang menunjukkan pengguna telah mencapai ambang batas pembakaran kalori ringan
- Sedang (320 kcal) sistem meningkatkan pengereman ke level 2 (50%) sebagai pengingat fisik bahwa intensitas latihan telah mencapai batas moderat.
- Berhenti (612 kcal) sistem memberikan hambatan pengereman maksimal (100%) untuk mewajibkan pesepeda berhenti dan beristirahat guna mencegah risiko *overtraining*

Nilai-nilai *singleton* ini merupakan representasi dari total kalori harian yang terbakar. Dalam proses *defuzzifikasi*, sistem akan mengambil keputusan berdasarkan aturan yang paling dominan dari basis aturan *fuzzy* kemudian mengubahnya menjadi sudut putar *motor stepper* untuk menggerakkan aktuator rem sesuai dengan persentase yang telah ditentukan.

3.1.5 MET (*Metabolic Equivalent of Task*)

MET (*Metabolic Equivalent of Task*) merupakan satuan standar dalam fisiologi olahraga yang digunakan untuk mengukur intensitas aktivitas fisik berdasarkan konsumsi oksigen relatif terhadap kondisi istirahat. Nilai *MET* bisa bervariasi antar individu tergantung faktor usia dan berat badan. Klasifikasi nilai *MET* berdasarkan tingkat intensitas selama bersepeda berdasarkan *American College of Sports Medicine (ACSM)* adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 5 Nilai *MET* Berdasarkan Kecepatan Bersepeda

No	Aktivitas	Klasifikasi	Nilai MET
1	Bersepeda 10-11.9 mph ((17–19 km/jam)	Santai	6.8
2	Bersepeda 12-13.9 mph (20-22km/jam)	Sedang	8
3	Bersepeda 14-15.9 mph (22-25km/jam)	Cepat	10
4	Bersepeda 16-19 mph (25-30km/jam)	Sangat Cepat	12
5	Bersepeda >20 mph (>32km/jam)	Balapan	16.8

Pada tabel 3.5 dapat dilihat, setiap aktivitas bersepeda memiliki nilai *MET* yang berbeda tergantung intensitasnya. Sebagai contoh aktivitas bersepeda dengan kecepatan 10 – 11,9 *mph* termasuk kategori santai dengan nilai *MET*nya 6.8. Ini menandakan bahwa nilai *MET* sangat penting dalam menghitung estimasi kalori yang terbakar.

Klasifikasi intensitas aktivitas bersepeda berdasarkan umur, berat badan, nilai *MET*, dan total kalori yang terbakar dengan durasi ± 30 menit.

Tabel 3. 6 Estimasi Kalori Terbakar Dengan Nilai *MET* 6.8 Durasi ± 30 menit

No	Umur (tahun)	Berat Badan (kg)	Total kalori terbakar (kcal)	Keterangan
1	18 - 29	≤ 55	293	Aman untuk kebugaran
2	18 - 29	≤ 70	415	Aman untuk kesehatan umum
3	30 - 39	≤ 75	401	Aman untuk dewasa aktif

No	Umur (tahun)	Berat Badan (kg)	Total kalori terbakar (kcal)	Keterangan
4	40 - 49	≤80	380	Aman, Hindari <i>overtraining</i>
5	50 - 59	≤85	404	Disarankan intensitas ringan – sedang
6	60+	≤70	249	Ideal untuk lansia

Pada tabel 3.6 menunjukkan estimasi pembakaran kalori selama 30 menit menggunakan parameter *MET* 6.8 yang disesuaikan dengan berbagai profil pengguna. Terlihat bahwa berat badan berpengaruh signifikan terhadap *output* kalori. Semakin berat massa tubuh pengguna, maka energi yang dikeluarkan akan semakin besar, seperti pada kelompok umur 18-29 tahun yang meningkat dari 293 kcal menjadi 415 kcal seiring bertambahnya berat badan.

Tabel 3. 7 Estimasi Kalori Terbakar Dengan Nilai *MET* 8 Durasi ±30 menit

No	Umur (tahun)	Berat Badan (kg)	Total kalori terbakar (kcal)	Keterangan
1	18 - 29	≤55	350	Aman untuk kebugaran
2	18 - 29	≤70	490	Aman untuk kesehatan umum
3	30 - 39	≤75	472	Aman untuk dewasa aktif
4	40 - 49	≤80	448	Aman, Hindari <i>overtraining</i>
5	50 - 59	≤85	476	Disarankan intensitas ringan – sedang
6	60+	≤70	294	Ideal untuk lansia

Pada tabel 3.7 terdapat estimasi pembakaran kalori dengan intensitas yang lebih tinggi menggunakan nilai *MET* 8 selama durasi 30 menit. Peningkatan nilai *MET* ini menyebabkan akumulasi kalori yang lebih besar dibandingkan dari tabel 3.6, di mana pengguna dengan berat badan ≤ 70 kg dapat mencapai 490 kcal. Data ini menunjukkan bahwa sistem pengereman akan memberikan beban mekanis yang lebih progresif seiring dengan meningkatnya variabel berat badan dan usia produktif pengguna guna mendukung target kebugaran yang optimal.

Tabel 3. 8 Estimasi Kalori Terbakar Dengan Nilai *MET* 10 Durasi ± 30 menit

No	Umur (tahun)	Berat Badan (kg)	Total kalori terbakar (kcal)	Keterangan
1	18 - 29	≤ 55	432	Aman untuk kebugaran
2	18 - 29	≤ 70	612	Aman untuk kesehatan umum
3	30 - 39	≤ 75	590	Aman untuk dewasa aktif
4	40 - 49	≤ 80	560	Aman, Hindari overtraining
5	50 - 59	≤ 85	596	Disarankan intensitas ringan – sedang
6	60+	≤ 70	368	Ideal untuk lansia

Pada tabel 3.8 menunjukkan estimasi pembakaran kalori pada intensitas tinggi dengan nilai *MET* 10 dalam durasi 30 menit yang mencerminkan beban latihan yang lebih berat bagi pengguna. Pada parameter ini terlihat lonjakan akumulasi kalori yang signifikan terutama pada pengguna dengan berat badan ≤ 70 kg yang mencapai 612 kcal yang menandakan bahwa sistem dirancang untuk memfasilitasi kebutuhan intensitas tinggi bagi kelompok usia produktif.

Tabel 3. 9 Estimasi Kalori Terbakar Dengan Nilai *MET* 12 Durasi ± 30 menit

No	Umur (tahun)	Berat Badan (kg)	Total kalori terbakar (kcal)	Keterangan
1	18 - 29	≤ 55	461	Aman untuk kebugaran
2	18 - 29	≤ 70	588	Aman untuk kesehatan umum
3	30 - 39	≤ 75	551	Aman untuk dewasa aktif
4	40 - 49	≤ 80	588	Aman, Hindari overtraining
5	50 - 59	≤ 85	535	Disarankan intensitas ringan – sedang
6	60+	≤ 70	368	Ideal untuk lansia

Pada tabel 3.9 terdapat informasi mengenai estimasi pembakaran kalori pada kategori intensitas sangat tinggi menggunakan nilai *MET* 12 dengan durasi latihan 30 menit. Pada tingkat ini, beban kerja fisik yang dihasilkan sangat besar yang di mana pengguna dengan berat badan ≤ 70 kg mampu membakar hingga 588 kkal yang merepresentasikan latihan kardiovaskular tingkat lanjut bagi kelompok usia produktif.

Tabel 3. 10 Estimasi Kalori Terbakar Dengan Nilai *MET* 16.8 Durasi ± 30 menit

No	Umur (tahun)	Berat Badan (kg)	Total kalori terbakar (kkal)	Keterangan
1	18 - 29	≤ 55	484	Aman untuk kebugaran
2	18 - 29	≤ 70	617	Aman untuk kesehatan umum
3	30 - 39	≤ 75	551	Aman untuk dewasa aktif
4	40 - 49	≤ 80	588	Aman, Hindari overtraining
5	50 - 59	≤ 85	500	Disarankan intensitas ringan – sedang
6	60+	≤ 70	412	Ideal untuk lansia

Tabel 3.10 menampilkan estimasi pembakaran kalori pada tingkat intensitas maksimal menggunakan nilai *MET* 16.8 dalam durasi latihan 30 menit. Nilai *MET* ini mewakili performa fisik puncak atau fase sprint di mana pengguna dengan berat badan ≤ 70 kg mencapai angka pembakaran tertinggi sebesar 617 kkal.

Selanjutnya untuk mengetahui klasifikasi aktivitas selama bersepeda dengan menggunakan sensor ultrasonik untuk menghitung kecepatan bersepeda. Sistemnya ketika sensor ultrasonik mendeteksi pedal, itu dianggap *on* dan ketika tidak mendeteksi pedal maka dianggap *off*. Rumusnya sebagai berikut:

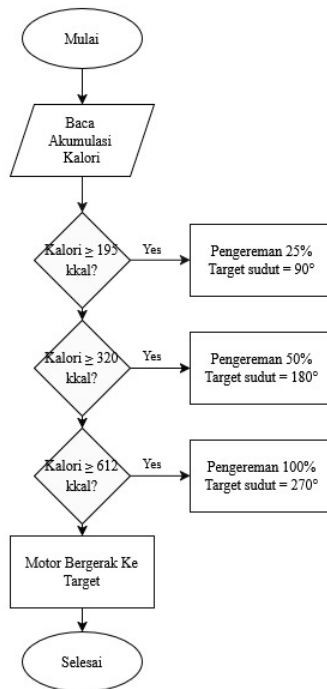
$$\text{Kecepatan (km/jam)} = \frac{\text{Jarak per putaran (m)}}{\text{Waktu per putaran (s)}} \times 3.6$$

Dengan demikian setiap kali pedal berputar satu kali penuh artinya sepeda akan menempuh jarak sejauh 5,2 meter. Hasil ini menjadi kunci untuk menghitung kecepatan sepeda secara *real-time*. Sensor ultrasonik akan memantau pergerakan pedal dan mencatat waktu yang dibutuhkan untuk satu putaran penuh. Setelah waktu per putaran diketahui, maka sistem dapat menghitung kecepatan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Kecepatan (km/jam)} = \frac{5.2}{2} \times 3.6 = 9.45 \text{ km/jam}$$

Dengan pendekatan ini sistem dapat mengklasifikasikan aktivitas pengendara sepeda berdasarkan variasi kecepatan yang dihitung. Misalnya kecepatan rendah dapat diartikan sebagai aktivitas santai, kecepatan sedang dapat diartikan sebagai aktivitas bersepeda biasa, dan kecepatan tinggi sebagai aktivitas bersepeda cepat. Klasifikasi ini dapat digunakan untuk menentukan nilai *MET* yang nantinya akan digunakan untuk menentukan estimasi kalori yang terbakar selama bersepeda.

3.1.6 Sistem Pengereman Otomatis



Gambar 3. 9 Sistem Kerja Pengereman Otomatis

Cara kerja sistem pengereman otomatis dapat dilihat pada gambar 3.9. Sistem ini diinisiasi saat pengendara memulai aktivitas bersepeda dengan posisi *motor stepper* pada posisi pengereman 0%. Ketika pembakaran kalori pengendara mencapai kategori aman 0–195 kkal, *motor stepper* akan menggerakkan aktuator untuk menekan rem *U-brake*, mengaplikasikan pengereman sebesar 25%. Selanjutnya jika pembakaran kalori mencapai kategori sedang 196 kkal–320 kkal, *motor stepper* akan kembali menggerakkan poros untuk menekan *U-brake*, menghasilkan pengereman sebesar 50%.

Apabila pembakaran kalori pengendara telah mencapai kategori berhenti ≥ 620 kkal, *motor stepper* secara otomatis akan menggerakkan poros untuk menekan rem *U-brake* hingga mencapai pengereman 100%. Pada kondisi pengereman penuh (100%), pengendara diinstruksikan untuk menekan tombol stop dan

beristirahat selama 5 menit. Periode ini bertujuan untuk memulihkan pernapasan dan konsentrasi guna menghindari potensi kecelakaan akibat kelelahan.

Selama periode istirahat, *motor stepper* secara bertahap menggerakkan aktuator kebelakang menjauhi rem *U-brake* hingga kembali ke titik pengereman 0%. Setelah sistem pengereman otomatis kembali ke kondisi awal (0%), pengendara sepeda dapat melanjutkan aktivitas bersepedanya kembali

Bab 4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pengujian Sensor Ultrasonik

Pengujian sensor ultrasonik dilakukan untuk memastikan sensor mampu mendeteksi objek pedal sepeda secara akurat sesuai jarak yang diharapkan. Sensor ultrasonik diuji dengan cara membandingkan hasil pengukuran jarak yang ditampilkan sistem terhadap jarak aktual yang diukur menggunakan alat ukur manual.

4.1.1 Pengujian Akurasi Sensor Ultrasonik

Berikut ini adalah tabel 4.1 yang berfokus pada pengujian akurasi sensor ultrasonik dalam membaca jarak:

Tabel 4. 1 Pengujian Sensor Membaca Jarak

Jarak Sebenarnya (cm)	Percobaan (1)	Percobaan (2)	Percobaan (3)	Rata – Rata Hasil Percobaan (cm)	Error (%)
5	5.02	5.01	5.01	5.01	0.2
10	10.03	10.02	10.02	10.02	0.2
15	15.01	15.04	15.03	15.02	0.13
20	20	19.98	20.01	19.9	0.2
25	24.99	25.01	24.98	24.99	0.04
30	29.45	29.68	29.65	29.59	1.36
35	33.73	34.27	34.25	34.08	2.62
40	37.95	37.97	37.73	37.88	5.30
45	43.05	43.06	43.05	43.05	4.33
50	48.11	48.91	47.92	48.31	3.37

Jarak Sebenarnya (cm)	Percobaan (1)	Percobaan (2)	Percobaan (3)	Rata – Rata Hasil Percobaan (cm)	Error (%)
55	52.46	52.48	52.98	52.64	4.29
60	56.89	57.32	57.30	57.17	4.72
65	62.27	62.70	62.44	62.47	3.89
70	66.40	66.70	66.68	66.59	4.87
75	71.76	71.38	71.79	71.64	4.48
80	76.63	76.25	76.28	76.39	4.51

Tabel 4.1 menyajikan data hasil pengujian akurasi sensor ultrasonik dalam mengukur jarak pada rentang 5 cm hingga 30 cm dengan nilai *error* rata-rata dibawah 1,4%. Namun, saat pengujian dilanjutkan hingga jarak 80 cm terlihat adanya tren peningkatan nilai *error*.

Peningkatan nilai *error* mulai terlihat signifikan pada jarak 40 cm yaitu 5,30% dan cenderung menetap di kisaran 3% hingga 5% pada rentang jarak 45 cm hingga 80 cm. Meskipun terdapat selisih jarak sebenarnya dan hasil pembacaan, nilai *error* ini masih berada pada batas yang dapat diterima karena sifat linearitas sensor yang tetap terjaga. Konsistensi pembacaan pada setiap percobaan menunjukkan bahwa meskipun akurasi sedikit menurun pada jarak jauh, tingkat presisi sensor tetap baik. Melalui tabel ini dapat diinformasikan bahwa data ini dapat digunakan sebagai input perhitungan kecepatan, penghitung total kayuhan dan estimasi pembakaran kalori dalam sistem.

4.1.2 Validasi Data Perhitungan Kayuhan

Berikut adalah tabel pengujian pembacaan sensor antara hitung otomatis dengan hitung manual. Pengujian dilakukan untuk mengetahui keakuratan sensor dalam membaca setiap kayuhan.

Tabel 4. 2 Perbandingan Hasil Perhitungan Kayuhan Otomatis dan Perhitungan Manual

Percobaan	Hitung Otomatis	Hitung Manual	Error (%)
1	9	9	0%
2	11	11	0%
3	7	7	0%
4	8	9	0%
5	9	9	0%

Tabel 4.2 menyajikan data perbandingan antara jumlah kayuhan yang dideteksi secara otomatis oleh sistem melalui sensor dengan hasil perhitungan manual yang dilakukan sebagai pembandingan. Pengujian ini dilakukan melalui lima kali percobaan dengan variasi jumlah kayuhan untuk memastikan bahwa algoritma pendeteksian pada ESP32 telah sinkron dengan gerakan fisik yang terjadi.

4.1.3 Pengujian Respon Sudut *Motor Stepper*

Pengujian ini menginformasikan ketepatan pergerakan *motor stepper* dalam memberikan beban mekanis untuk pengereman berdasarkan *input* data kalori yang telah diproses ESP32.

Tabel 4. 3 Pengujian Respon *Motor Stepper* Berdasarkan Akumulasi Kalori

Target Kalori	Sudut Seharusnya	Sudut Aktual	Status
195 kcal	90°	90°	Berhasil
320 kcal	180°	180°	Berhasil
612 kcal	270°	270°	Berhasil

Pengujian pada table 4.3 membuktikan bahwa *motor stepper* benar – benar bergerak ke sudut yang diinginkan sesuai dengan akumulasi kalori.

4.1.4 Pengujian Kinerja Perhitungan Kalori Berdasarkan Aktivitas Pengayuhan

Pada tahap ini dilakukan pengujian sistem secara fungsional dengan melibatkan pengguna berusia 27 tahun dengan berat badan 70 kg dengan kecepatan rata-rata 25 km/jam. Pengujian ini bertujuan untuk memvalidasi kinerja sistem dalam mengonversi aktivitas fisik menjadi data pembakaran kalori serta melihat respon mekanik yang dihasilkan.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Sistem Berdasarkan Aktivitas Pengayuhan

No	Jumlah Kayuhan	Total Kalori	Sudut Motor	Status Pengereman
1	216	33,50	0°	Normal
2	400	64,77	0°	Normal
3	602	101,63	0°	Normal
4	800	174,42	0°	Normal
5	894	195,01	90°	Aman (25%)
6	1000	221,52	90°	Aman (25%)
7	1200	264,40	90°	Aman (25%)
8	1331	320,16	180°	Sedang (50%)
9	1400	340,52	180°	Sedang (50%)
10	2002	484,42	180°	Sedang (50%)
11	2400	582,11	180°	Sedang (50%)
12	2554	612,03	270°	Berhenti (100%)

Pada tabel 4.4 dapat diamati hasil pengujian sistem secara mendalam pada pengguna dengan profil usia 27 tahun dengan berat badan 70 kg dengan kecepatan rata-rata 25 km/jam. Data tersebut menunjukkan bahwa sistem pengereman otomatis bekerja melalui empat fase utama yang dipicu oleh akumulasi pembakaran kalori. Pada rentang awal kayuhan hingga ke 800, motor stepper tetap berada pada posisi 0 derajat karena total kalori yang terbakar belum menyentuh ambang batas pengereman pertama.

Akurasi sistem terbukti pada saat akumulasi kalori menyentuh angka 195,01 kal di kayuhan ke 894 di mana motor stepper secara instan merespons dengan berpindah ke sudut 90 derajat. Pola kenaikan yang konsisten juga terlihat pada transisi pengereman 180 derajat saat mencapai 320,16 kal hingga akhirnya mencapai pengereman maksimal 270 derajat pada saat kalori menyentuh angka 612,03 kal pada kayuhan ke 2554. Hasil pengujian pada tabel 4.4 ini mengonfirmasi bahwa seluruh parameter masukan mulai dari kecepatan rata – rata 25km/jam hingga jumlah kayuhan telah berhasil diolah oleh algoritma sistem menjadi perintah mekanik yang presisi dan sesuai dengan rancangan *fuzzy rule* yang ditetapkan.

4.1.5 Pengujian Performa RPM dan Kecepatan Terhadap Beban Pengereman

Pengujian ini dilakukan untuk memvalidasi kinerja sistem pengereman mekanis yang dikendalikan oleh *motor stepper* terhadap respon fisik putaran roda. Tujuan utamanya adalah untuk membuktikan bahwa setiap perubahan sudut pengereman yang dipicu akumulasi kalori memberikan dampak nyata berupa hambatan yang dapat diukur melalui penurunan nilai RPM (*Rotations Per Minute*) dan kecepatan.

Tabel 4. 5 Pengujian Nilai RPM dan Kecepatan Berdasarkan Sudut Pengereman

No	Sudut Motor	Kecepatan	RPM	Keterangan
1	0°	7.2	84.5	Beban Ringan
2	0°	12.4	99.4	Beban Ringan
3	0°	18.9	154.0	Beban Ringan
4	90°	7.2	64.4	Beban Rendah
5	90°	12.4	88.4	Beban Rendah
6	90°	18.9	137.2	Beban Rendah
7	180°	7.2	52.9	Beban Sedang
8	180°	12.4	64.6	Beban Sedang
9	180°	18.9	119.9	Beban Sedang
10	270	0	0	Beban Berat

Pada tabel 4.5 menginformasikan hasil pengujian performa putaran roda yang diukur pada berbagai variasi kecepatan dan sudut pengereman. Melalui data tersebut, terlihat adanya korelasi yang jelas antara peningkatan beban mekanis dengan efisiensi putaran di mana pada nilai kecepatan yang sama, nilai RPM cenderung menurun secara bertahap seiring dengan semakin besarnya sudut *motor stepper*.

Seluruh data rotasi roda dalam pengujian ini dipantau menggunakan alat ukur *tachometer digital*. Instrumen ini berfungsi untuk mengonversi putaran fisik roda menjadi data numerik sehingga efektivitas hambatan dari motor stepper dapat divalidasi.



Gambar 4. 1 Tachometer Digital

Implementasi pengukuran ini menggunakan *tachometer digital laser* yang diarahkan langsung ke titik *reflector* pada roda. Saat motor stepper menggerakkan sistem pengereman berdasarkan akumulasi kalori yang terdeteksi, *tachometer* secara *real-time* menangkap perubahan frekuensi putaran dan menampilkannya pada layar OLD sehingga penurunan kecepatan rotasi dapat terdokumentasi.

4.2 Pembahasan

Berdasarkan seluruh rangkaian pengujian yang telah dilakukan, sistem penghitung kayuhan dan estimasi kalori yang terbakar dengan sistem pengereman otomatis pada sepeda ini telah menunjukkan performa yang sesuai dengan perancangan awal. Berikut analisis mendalam mengenai integrasi sistem tersebut.

4.2.1 Analisis Akurasi Pembacaan Jarak Sensor

Berdasarkan data pada tabel 4.1, sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai unit input utama telah menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi dalam membaca jarak objek. Dengan nilai *error* rata-rata yang sangat minim, sensor mampu mendeteksi keberadaan pedal secara konsisten.

4.2.2 Analisis Akurasi Deteksi Kayuhan dan Sensor

Selain akurasi jarak, analisis terhadap jumlah kayuhan sepeda pada tabel 4.2 menunjukkan tingkat keberhasilan deteksi sebesar 100% pada sebagian besar percobaan. Hal ini membuktikan bahwa algoritma *thresholding* yang ditetapkan pada program ESP32 telah berhasil membedakan antara objek pedal yang melintas dengan area kosong.

Keberhasilan ini sangat krusial karena setiap satu kayuhan yang terdeteksi dihitung sebagai satu putaran penuh yang kemudian dikonversi menjadi jarak tempuh. Karena tidak ada *missing pulse* atau kayuhan yang terlewat, maka data kecepatan yang dihasilkan menjadi sangat stabil. Hal ini meminimalkan risiko kesalahan akumulasi kalori yang sering terjadi pada alat fitness statis jika kalori pendeteksinya tidak responsif. Penggunaan jeda waktu dalam program juga terbukti efektif menghilangkan pembacaan ganda yang mungkin terjadi akibat getaran pada kerangka sepeda saat dikayuh.

4.2.3 Analisis Respon *Motor Stepper* Terhadap Ambang Batas Kalori

Berdasarkan hasil pengujian tabel 4.3 menunjukkan keberhasilan sistem dalam mengintegrasikan data digital menjadi aksi mekanis. Sistem terbukti mampu memberikan respon yang tepat saat akumulasi kalori mencapai angka 195 kkal, 320 kkal, dan 612 kkal dengan menggerakkan *motor stepper* ke sudut target secara presisi. Tidak adanya selisih antara sudut seharusnya dengan sudut actual menginformasikan bahwa *driver motor stepper* menerima sinyal pulsa dari ESP32 tanpa adanya *data loss*. Keberhasilan ini merupakan kunci utama dalam fitur pengereman otomatis yang di mana transisi beban latihan terjadi tepat waktu sesuai dengan *progress* kalori pengguna.

4.2.4 Analisis Pengujian Kinerja Perhitungan Kalori Berdasarkan Aktivitas Pengayuhan

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4.4 menunjukkan adanya korelasi linear yang konsisten antara intensitas aktivitas fisik dengan akumulasi energi yang dihasilkan. Dengan mempertahankan kecepatan rata-rata 25 km/jam, sistem nilai *Metabolic Equivalent of Task* (MET) yang stabil sehingga setiap unit kayuhan memberikan kontribusi kalori yang seragam tanpa adanya inkonsistensi data. Hal ini membuktikan bahwa sensor ultrasonik memiliki akurasi tinggi dalam mendeteksi putaran kayuhan di mana setiap sinyal yang masuk berhasil diproses oleh mikrokontroler menjadi nilai kalori yang presisi. Konsistensi ini sangat krusial karena menjadi fondasi utama bagi sistem untuk menentukan kapan motor stepper harus melakukan transisi pengereman.

Responsivitas sistem kendali dalam mengeksekusi perubahan sudut motor stepper menunjukkan performa yang sangat baik tanpa adanya latensi yang signifikan. Ketepatan motor dalam berpindah posisi tepat saat kalori melewati ambang batas 195 kkal, 320 kkal, dan 612 kkal mengonfirmasi bahwa integrasi antara perangkat lunak berbasis *fuzzy logic* dan perangkat keras aktuatur telah berjalan sinkron. Dari sisi *ergonomic* latihan, pola pengereman bertahap ini menciptakan distribusi beban yang adaptif dan memberikan kesempatan bagi pengguna untuk melakukan pemanasan pada fase awal sebelum beban pengereman ditingkatkan secara otomatis.

4.2.5 Analisis Dampak Pengereman Terhadap Performa RPM Dan Kecepatan

Pengujian pada tabel 4.5 memberikan bukti fisik mengenai dampak pengereman terhadap beban latihan. Terjadi penurunan nilai RPM yang signifikan pada setiap tingkatan kecepatan seiring dengan bertambahnya sudut motor. Analisis ini menyimpulkan bahwa mekanisme pengereman berhasil memberikan hambatan gesek yang nyata sehingga menciptakan simulasi beban yang lebih berat.

Bab 5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan seluruh rangkaian hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada sistem penghitung kayuhan dan estimasi kalori yang terbakar dengan sistem pengereman otomatis pada sepeda berbasis ESP32 dapat ditarik beberapa Kesimpulan sebagai berikut:

1. Sensor ultrasonik HC-SR04 terbukti sangat akurat dalam mendeteksi objek pedal dengan nilai *error* rata-rata yang sangat rendah (di bawah 1%). Hal ini berdampak langsung pada validasi perhitungan kayuhan yang menunjukkan tingkat keberhasilan deteksi sebesar 100% tanpa adanya data yang terlewat (*missing pulse*) maupun pembacaan ganda.
2. Implementasi algoritma pada ESP32 telah berhasil mensinkronkan profil pengguna (umur dan berat badan) dengan aktivitas fisik secara *real-time*. Sistem mampu melakukan kalkulasi pembakaran kalori secara presisi dan mengeksekusi perintah pengereman melalui motor stepper tepat saat ambang batas kalori tercapai (195 kcal, 320 kcal, dan 612 kcal).
3. Mekanisme pengereman otomatis menggunakan motor stepper terbukti efektif dalam memberikan beban latihan yang adaptif. Hasil pengujian menggunakan tachometer digital memvalidasi adanya penurunan nilai RPM yang signifikan seiring dengan bertambahnya sudut motor, yang membuktikan bahwa hambatan gesek yang dihasilkan mampu memberikan simulasi beban latihan nyata bagi pengguna.
4. Sistem menunjukkan stabilitas yang baik dalam pengujian jangka panjang (hingga ribuan kayuhan) dan didukung oleh fitur memori permanen (*preferences*) yang mampu menjaga posisi terakhir motor stepper sehingga meningkatkan faktor keamanan dan kenyamanan dalam penggunaan sepeda.

5.2 Saran

Berdasarkan pengalaman selama proses perancangan dan pengujian alat, terdapat beberapa poin yang disarankan untuk pengembangan sistem lebih lanjut, di antaranya:

1. Disarankan untuk menambahkan fitur konektivitas Wi-Fi atau Bluetooth pada ESP32 agar data latihan (kalori, waktu, dan kecepatan) dapat dikirim ke aplikasi ponsel pintar (*smartphone*) atau *cloud server* untuk pemantauan riwayat latihan secara berkala.

2. Integrasikan *Internet of Things (IoT)* dengan menambahkan fitur pengiriman data hasil Latihan ke aplikasi *smartphone* melalui protokol MQTT atau HTTP agar pengguna dapat memantau progres Latihan dalam jangka Panjang.
3. Sensor denyut nadi ditambahkan sebagai parameter tambahan dalam penghitungan estimasi kalori yang terbakar agar hasilnya menjadi jauh lebih personal dan akurat bagi setiap pengguna.
4. Pengembangan selanjutnya dapat memanfaatkan energi putaran roda sepeda melalui dinamo untuk mengisi daya baterai sistem, sehingga alat ini dapat menjadi perangkat yang mandiri energi (*self-powered*)

Daftar Pustaka

- [1] Kementrian Kesehatan Republik Indonesia, "Hasil Utama Riskesdas 2018," Jakarta, 2018. [Online]. Available: <https://www.litbang.kemkes.go.id/laporan-riskesdas-2018>[Accessed:May 13, 2025]
- [2] A. Utomo, "Upaya bersepeda sebagai moda transportasi serta gaya hidup baru menjaga kebugaran jasmani," vol. 1, no. 1, pp. 118–126.
- [3] D. Grieve and Ruth J.Gear, "The Relationships Between Length of Stride, Step Frequency, Time of Swing and Speed of Walking for Children and Adults," *Ergonomics*, vol. 9, no. 5, pp. 379–399, 1996.
- [4] Alodokter, "Mengenal Kalori Sebagai Kunci Berat Badan Sehat." [Online]. Available:<https://www.alodokter.com/kalori-kunci-berat-badan-sehat> [Accessed: May 11, 2025]
- [5] Azmi, A. F. *Pengembangan Sistem Monitoring Aktivitas Fisik User Bergerak Dengan Analisa Langkah (Step Analysis) Untuk Estimasi Pembakaran Kalori Secara Real-Time*. 2016.
- [6] A. Dwi Fitriyanti, "APLIKASI PENGHITUNG KALORI TERBAKAR SAAT BEROLAHRAGA SEPEDA MENGGUNAKAN GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS) BERBASIS ANDROID," *J. Teknol. Inf.*, vol. 4, no. 2, pp. 1–16, Oct. 2013.
- [7] J. A. M. Fadhlurrahman, *Footsteps Counter and Number of Calories*. 2019.
- [8] I. W. T. Andhika, "Monitoring Kalori Yang Terbakar Pada Penggunaan Sepeda Statis Berbasis Arduino," *Penelitian Ilmiah*, 2021.
- [9] L. A.Zadeh, "Fuzzy Sets," vol. 353, pp. 338–353, 1965.
- [10] K. Y. Maulana, "Apa Itu ESP32, Salah Satu Modul Wi-Fi Poppuler." [Online].Available:<https://www.anakteknik.co.id/krysnayudhamaulana/articles/apa-itu-esp32-salah-satu-modul-wi-fi-poppuler>. [Accesed May 10 2025]
- [11] B. Arsada, "Aplikasi Sensor Ultrasonik Untuk Deteksi Posisi Jarak Pada Ruang Menggunakan Arduino Uno," *J. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 1–8, 2017.
- [12] R. F. Haya, C. R. Gunawan, and F. Amir, "Monitoring System For Decorative Plants Using Arduino Nano Microcontroller," *Ultimate Computing*, vol. XII, no. 2, p. 65, 2020.
- [13] Y. Mulkan, H. F. Hakimah, M. R. Lazuardi, R. Vega, N. C. Basjaruddin, and E. Rakhman, "Mesin Gambar Otomatis Berbasis Mikrokontroler," *Pros. 11th Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, pp. 293–299, 2020.
- [14] I. T. P. M. Karjadi and W. K. Raharja, "PUSH BUTTON SISTEM KEAMANAN PINTU RUMAH MENGGUNAKAN RASPBERRY PI BERBASIS IOT," *J. Ilm. Teknol. dan Rekayasa*, 2018.

- [15] S. N. Utomo, R. Winarso, and Q. Qomaruddin, "Rancang Bangun Conveyor Mesin Planer Kayu Dengan Sistem Penggerak Motor Stepper," *J. Crankshaft*, vol. 2, no. 1, pp. 43–48, 2019.
- [16] F. Yang and Y. S. Kwak, "Impact of Alternating Exercise Intensity Interventions on the Physical and Mental Health of Middle-Aged and Young Men," *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 22, 2024.
- [17] J. Allen, "Cantilever Bicycle Brakes ('V-Brakes')." [Online]. Available: <https://www.sheldonbrown.com/canti-direct.html> [Accessed: Jun. 10, 2025]
- [18] S. Oktriani, N. Kusmaedi, H. R. Daniel Ray, and A. Setiawan, "Perbedaan Jenis Kelamin, Usia, dan Body Mass Index (BMI) Hubungannya dengan Kebugaran Jasmani Lanjut Usia," *J. Terap. Ilmu Keolahragaan*, vol. 5, no. 1, pp. 28–40, 2020.
- [19] M. ICHWAN and S. F. ALFARISYI, "Pemodelan Ritme Kalori Terbakar Setiap Waktu Selama Bersepeda dengan Feedforward Neural Network," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 12, no. 1, p. 13, 2024.
- [20] C. Hall, A. Figueroa, B. Fernhall, and J. A. Kanaley, "Energy expenditure of walking and running: Comparison with prediction equations," *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 36, no. 12, pp. 2128–2134, Dec. 2004.
- [21] M. I. Khalif, D. Syauqy, and R. Maulana, "Pengembangan Sistem Penghitung Langkah Kaki Hemat Daya Berbasis Wemos D1 Mini," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 6, pp. 2548–964, 2018.
- [22] M. I. S. Nur and Rahmatul Fitriani, "PEMBUATAN SISTEM WEARABLE PEDOMETER DENGAN DISPLAY PADA SISTEM ANDROID M Imam Syafi ' i Nur S Rahmatul Fitriani Abstrak," pp. 1–6, 2011.
- [23] Y. R. Widy, Kuston, Adang, Aulia Anshari, Jajat, "ESTIMASI KALORI EKSPENDITURE BERDASARKAN," vol. 7, no. 1, pp. 110–117, 2025.
- [24] D. L. Fay, *ACSM Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. 1967.
- [25] A. H. Johnston and G. M. Weiss, "Smartwatch-based biometric gait recognition," *2015 IEEE 7th Int. Conf. Biometrics Theory, Appl. Syst. BTAS 2015*, no. June, 2015.
- [26] B. E. AINSWORTH *et al.*, "2011 Compendium of Physical Activities," *Med. Sci. Sport. Exerc.*, vol. 43, no. 8, pp. 1575–1581, 2011.
- [27] F. Istyanto and S. Aulia Rahmi, "MANFAAT AKTIFITAS FISIK TERHADAP KESEHATAN MENTAL BERBASIS NARRATIVE LITERATURE REVIEW The Benefits Of Physical Activity On Mental Health : Narrative Literature Review," vol. 14, no. 02, pp. 182–192, 2023.
- [28] A. B. Wijaya and I. Nurahman, "Aplikasi Pencatat Kegiatan Olahraga 'Satu Gowes' menggunakan Global Positioning System (GPS) berbasis Android," *Explor. Sist. Inf. dan Telemat.*, vol. 11, no. 2, p. 118, 2020.

- [29] T. dan A. Azizah, Fakhrun Niza'ul, "Aplikasi Android Untuk Membantu Program Diet Berbasis Aktivitas," *Semin. Nas. Sist. Inf.*, no. September, pp. 602–612, 2017.
- [30] C. A. Fukuchi, R. K. Fukuchi, and M. Duarte, "Effects of walking speed on gait biomechanics in healthy participants: A systematic review and meta-analysis," *Syst. Rev.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–12, 2019.
- [31] A. Sugih, M. Huda, T. A. Zuraiyah, and F. L. Hakim, "Prototipe Alat Pengukur Jarak Dan Sudut Kemiringan Digital Menggunakan Sensor Ultrasonik Dan Accelerometer Berbasis Arduino Nano," *Bina Insa. Ict J.*, vol. 6, no. 2, pp. 185–194, 2019.
- [32] I. Telemed, "Manfaat Bersepeda Untuk Kesehatan Kardiovaskular." [Online]. Available: <https://telemed.ihc.id/artikel-detail-1147-Manfaat-Bersepeda-Untuk-Kesehatan-Kardiovaskular.html> [Access May 29 2025]
- [33] S. Qasidi, "Rancang Bangun Alat Monitoring Pada Sepeda Statis Berbasis Internet of Things," vol. 7, no. 3, pp. 128–137, 2019, https://opac.lib.pcr.ac.id/index.php?p=show_detail&id=11259&keywords= [Accessed May 25 2025]
- [34] S. N. Ubay, W. A. Kusuma, and Z. Sari, "Pengembangan Sistem Monitoring Langkah Kaki Dengan Sensor Mpu6050 Untuk Menghitung Jumlah Penurunan Berat Badan Berbasis Android," *J. Repos.*, vol. 2, no. 2, pp. 123–128, 2020.
- [35] A. Kadir, *Arduino dan Sensor : Tuntunan Praktis Mempelajari Penggunaan Sensor Untuk Aneka Proyek Elektronika Berbasis Arduino*, Ed.1, Cet. Yogyakarta, 2018.
- [36] A. Nuraini, "Sistem Kendali Pemakaian Energi Listrik Berbasis Logika Fuzzy Pada Bangunan Gedung," 2023.
- [37] B. E. Ainsworth *et al.*, "2011 compendium of physical activities: A second update of codes and MET values," *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 43, no. 8, pp. 1575–1581, 2011.
- [38] A. D. Gustira and A. W. Suropto, "Pengaruh Aktivitas Sepeda Terhadap Kesehatan Dan Pola Hidup Masyarakat Kecamatan Blora Ditengah Pandemi Covid-19," *Indones. J. Phys. Educ. Sport*, vol. 3, no. 1, pp. 63–67, 2022.
- [39] A. Wicaksono, *Buku Aktivitas Fisik dan Kesehatan*, no. July. 2021. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/353605384> [Accessed May 23 2025]
- [40] J. A. Harris and F. G. Benedict, "A Biometric Study of Human Basal Metabolism," *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, vol. 4, no. 12, pp. 370–373, 1918.
- [41] American College of Sports Medicine, *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*, 11th ed. Philadelphia, PA: Wolters Kluwer, 2021.

Lampiran