

KONTROL KECEPATAN MOTOR PADA *TREADMILL* BERDASARKAN DETAK JANTUNG DAN KADAR OKSIGEN DALAM TUBUH

Ade Rizal Novianto ¹, Indrazno Siradjuddin ², Gillang Al Azhar ³

^{1,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No.9 Malang, Indonesia

e-mail: ade.rizal11223344@gmail.com, indrazno@polinema.ac.id,

gillang_al_azhar@polinema.ac.id

Abstract

A treadmill is an exercise equipment designed to simulate the activity of walking, running, or climbing on a flat or inclined surface indoors. This tool consists of a running surface that moves continuously, usually equipped with a drive, namely a motor. The use of a treadmill has become one of the main choices for doing cardiovascular exercise at home or in the fitness center. However, there are several health problems that arise due to unwise use of treadmills. Many users do not pay attention to heart rate and oxygen levels in the body when exercising. This can result in accidents while exercising and even potentially a heart attack if you are forced to exercise. In an effort to increase the health benefits of physical exercise, this thesis aims to provide a smarter and more innovative solution by controlling the motor speed on a treadmill by utilizing heart rate data and oxygen levels in the user's body. By utilizing sensory technology such as heart rate and oxygen level sensors, systems were developed to measure and integrate this data into control system algorithms. Thus, this thesis was created with the aim of ensuring that treadmill users can exercise safely and comfortably. By utilizing the fuzzy logic method to process data on heart rate and oxygen levels in the body so that it affects the speed of the treadmill.

Abstrak

Treadmill adalah alat olahraga yang dirancang untuk mensimulasikan aktivitas berjalan, berlari, atau mendaki pada permukaan datar atau miring di dalam ruangan. Alat ini terdiri dari permukaan berjalan yang bergerak secara terus menerus, biasanya dilengkapi dengan penggerak yaitu motor. Penggunaan treadmill telah menjadi salah satu pilihan utama dalam melakukan olahraga kardiovaskular di rumah atau di pusat kebugaran. Namun, terdapat beberapa permasalahan kesehatan yang muncul akibat penggunaan treadmill yang kurang bijaksana. Banyak pengguna yang tidak memperhatikan detak jantung dan kadar oksigen dalam tubuh saat berolahraga. Hal tersebut, dapat berakibat kecelakaan saat berolahraga bahkan berpotensi terkena serangan jantung jika dipaksakan untuk berolahraga. Dalam upaya meningkatkan manfaat kesehatan dari latihan fisik, skripsi ini bertujuan untuk memberikan solusi yang lebih cerdas dan inovatif dengan mengontrol kecepatan motor pada treadmill dengan memanfaatkan data detak jantung dan kadar oksigen dalam tubuh pengguna. Dengan memanfaatkan teknologi sensorik seperti sensor detak jantung dan kadar oksigen, sistem dikembangkan untuk mengukur dan mengintegrasikan data ini ke dalam algoritma sistem kontrol. Dengan demikian, skripsi ini dibuat bertujuan agar pengguna treadmill dapat berolahraga dengan aman dan nyaman. Dengan memanfaatkan metode fuzzy logic untuk mengolah data detak jantung dan kadar oksigen dalam tubuh sehingga berpengaruh terhadap kecepatan treadmill.

Article History

Submitted: 20 Agustus 2024

Accepted: 23 Agustus 2024

Published: 30 Agustus 2024

Key Words

Treadmills, Heart rate, Oxygen Levels, Fuzzy Logic

Sejarah Artikel

Submitted: 20 Agustus 2024

Accepted: 23 Agustus 2024

Published: 30 Agustus 2024

Kata Kunci

Detak Jantung, Kadar Oksigen, Logika Fuzzy

1. PENDAHULUAN

Kesehatan dan kebugaran fisik telah menjadi perhatian utama dalam masyarakat modern. Gaya hidup yang seringkali kurang aktif dan pola makan yang tidak sehat dapat menyebabkan masalah kesehatan jangka panjang seperti obesitas, penyakit jantung, dan gangguan pernapasan. Untuk mengatasi masalah ini, banyak orang telah berusaha meningkatkan kebugaran fisik mereka melalui berbagai cara, termasuk berolahraga secara teratur.

Latihan fisik atau aktivitas fisik berpengaruh langsung terhadap sistem kardiovaskular, baik efek akut maupun efek kronis [1]. Efek akut dari latihan fisik adalah meningkatkan denyut nadi dan frekuensi pernapasan [2]. Selanjutnya hasil penelitian terdahulu didapatkan, latihan secara aerobik yang dilangsungkan selama 2x30 menit dapat meningkatkan frekuensi denyut nadi, asam laktat darah, suhu tubuh, dan tekanan darah [3]. Salah satu aspek kunci dalam berolahraga adalah menjaga detak jantung dan kadar oksigen dalam rentang yang tepat. Detak jantung merupakan ukuran vitalitas dan kesehatan kardiovaskular seseorang. Saat berolahraga, detak jantung meningkat karena kebutuhan tubuh akan lebih banyak oksigen dan nutrisi untuk memenuhi permintaan energi yang lebih tinggi. Oleh karena itu, menjaga detak jantung dalam rentang yang sesuai dengan intensitas latihan yang diinginkan memiliki dampak positif yang signifikan pada kesehatan. Saturasi oksigen yang normal bermanfaat untuk proses kehidupan manusia [4]. Nilai saturasi oksigen normal menurut WHO antara 95-100% dan dikatakan nilai saturasinya kurang bila ditemukan dibawah 85% [5]. Pada nilai saturasi oksigen kurang adalah gambaran bahwa jaringan dalam tubuh tidak mendapatkan cukup oksigen [6]. Pada nilai saturasi kurang dari 70% seseorang harus segera mendapatkan pertolongan karena membahayakan kondisi tubuh [7].

Salah satu alat yang populer untuk latihan kardiovaskular adalah *treadmill*. *Treadmill* memungkinkan pengguna untuk berjalan atau berlari di tempat dengan kontrol kecepatan yang dapat disesuaikan. Namun, banyak orang mungkin mengalami kesulitan dalam mengatur kecepatan *treadmill* sesuai dengan level kebugaran mereka atau intensitas latihan yang dibutuhkan. Pengaturan kecepatan dengan menggunakan motor DC lebih mudah jika dibandingkan dengan pengaturan kecepatan motor AC [1]. Hal ini karena tegangan yang diatur untuk motor DC sudah dalam bentuk gelombang rata sehingga mudah untuk mengatur kecepatan motornya [2]. Pada umumnya perancangan *treadmill* masih menggunakan sistem kendali loop terbuka dimana dalam kinerjanya masih ditemukan kekurangan seperti kecepatan motor yang tidak stabil jika digunakan oleh pengguna dengan ukuran berat badan yang bervariasi [3].

Tujuan penelitian adalah merancang sebuah alat pengontrol kecepatan motor pada *treadmill* berdasarkan detak jantung dan kadar oksigen dalam tubuh. Dengan demikian, pengguna *treadmill* dapat berolahraga sesuai dengan kemampuannya

2. METODE PENELITIAN

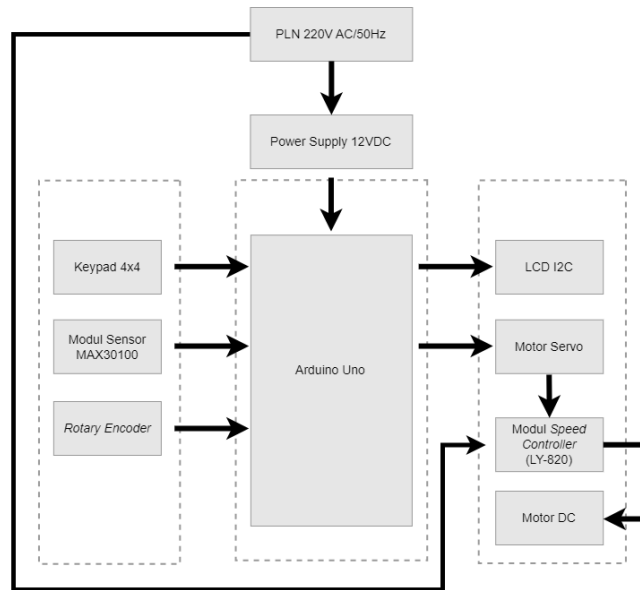
Metode yang digunakan dalam penelitian ini metode kuantitatif eksperimen. Metode ini akan diterapkan melalui perbandingan sistem pengontrolan kecepatan motor *treadmill* berdasarkan detak jantung dan kadar oksigen dalam tubuh pengguna *treadmill*.

2.1 Blok Diagram

Pada bagian input, terdapat keypad 4x4 yang berfungsi untuk memasukkan nilai usia dan berat badan yang berpengaruh terhadap kecepatan *treadmill*. Sensor MAX30100 yang berfungsi untuk mendeteksi detak jantung dan kadar oksigen dalam tubuh. Selanjutnya terdapat *Rotary Encoder* untuk mendeteksi kecepatan *treadmill* dan berfungsi sebagai *feedback*.

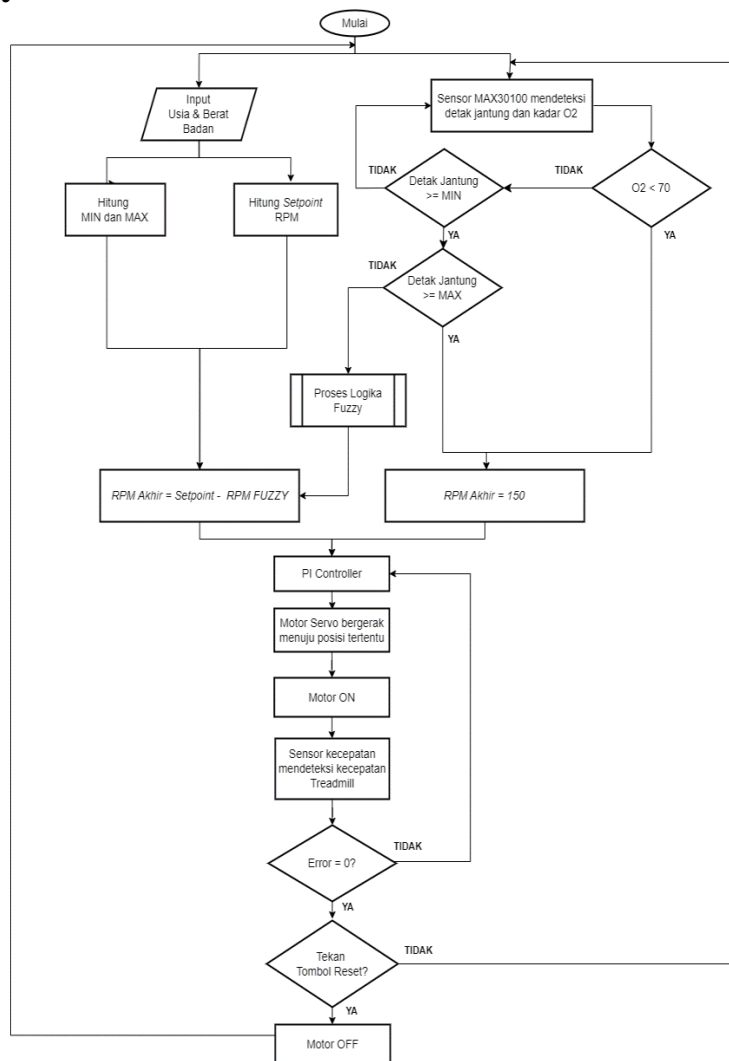
Pada bagian proses, terdapat Arduino Uno berfungsi sebagai mikrokontroler yang akan menerima dan mengolah sinyal dari input, lalu meneruskan atau mengirim informasi yang didaatkan pada output.

Pada bagian output, terdapat LCD 20x4 I2C dan motor servo. Motor servo terhubung pada knop potensiometer pada *speed controller* yang terhubung dengan motor dc, Motor servo berfungsi untuk mengatur posisi sudut potensiometer pada *speed controller*. Potensiometer pada *speed controller* berfungsi mengatur kecepatan motor dc. Lcd I2C berfungsi sebagai display detak jantung, kadar oksigen dan RPM *treadmill*.



Gambar 1 Blok Diagram Sistem

2.2 Flowchart



Gambar 2 Flowchart Sistem

Pertama, pengguna harus menginputkan usia dan berat badan agar mendapatkan kecepatan *treadmill* yang sesuai. Untuk menentukan kecepatan, dapat menggunakan regresi polinomial berganda dengan Usia dan Berat badan sebagai variabel bebas dan RPM sebagai variabel terikat. Usia yang diinputkan akan dihitung untuk mendapatkan detak jantung maksimal, detak jantung maksimal dapat dihitung menggunakan rumus :

$$\text{Detak Jantung Maks} = 220 - \text{Usia} \quad (1)$$

Setelah didapatkan detak jantung maksimal, dapat dihitung *range* detak jantung yang ideal untuk berolahraga dengan rumus :

$$\text{MIN} = \text{Detak Jantung Maks} \times 60\% \quad (2)$$

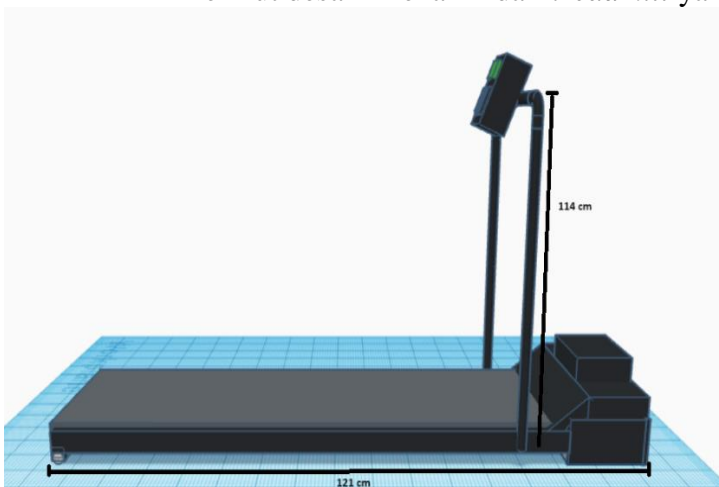
$$\text{MAX} = \text{Detak Jantung Maks} \times 80\% \quad (3)$$

Oleh karena itu, dibuatlah variabel *MIN* yaitu 60% dari detak jantung maksimal dan *MAX* untuk 80% dari detak jantung maksimal. Ketika detak jantung diantara *Min*- *Max* maka *treadmill* mengalami penurunan kecepatan sesuai dengan data detak jantung dan kadar oksigen yang didapatkan.

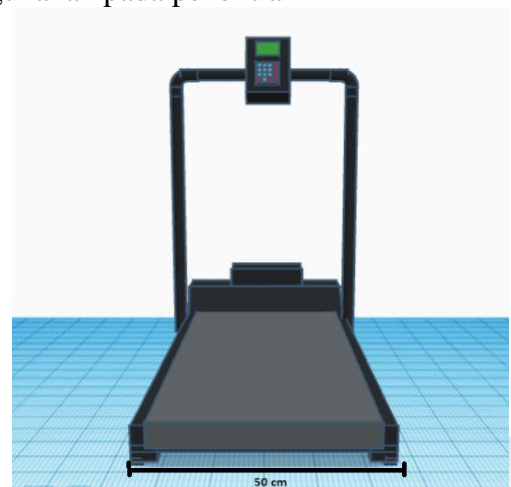
Kecepatan *treadmill* akan distabilkan oleh PI (*Proportional-Integral*) sampai kondisi detak jantung lebih besar sama dengan *MIN* dan kurang dari *MAX*, ketika berada pada kondisi tersebut kendali logika fuzzy akan mempengaruhi set poin kecepatan *treadmill*. Set poin kecepatan *treadmill* akan mulai menurun seiring dengan meningkatnya detak jantung dan menurunnya kadar oksigen dalam tubuh. Ketika detak jantung dalam tubuh yang dideteksi oleh sensor MAX30100 lebih besar sama dengan *MAX* maka set poin kecepatan menjadi 150 rpm Hal tersebut bertujuan untuk menghindari terjadinya kecelakaan pada saat berolahraga, seperti terjatuh dari *treadmill* sehingga megakibatkan cedera, bahkan lebih parah dapat berpotensi terkena serangan jantung. Disamping itu, proses pembakaran lemak tubuh akan maksimal jika detak jantung berada diantara *MIN* dan *MAX*. Dengan mengurangi kecepatan diharapkan detak jantung pengguna dapat menurun sehingga pengguna dapat berolahraga lebih lama. Proses selesai.

2.3 Perancangan Mekanik

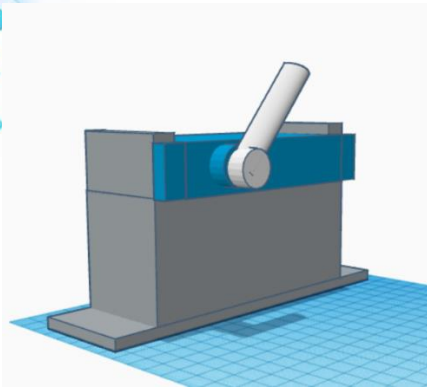
Berikut desain mekanik dari *treadmill* yang digunakan pada penelitian ini



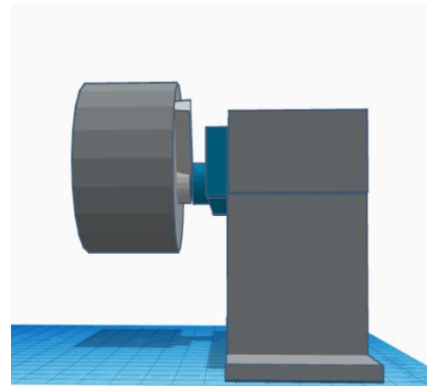
Gambar 3 Tampak Samping Treadmill



Gambar 4 Tampak Depan



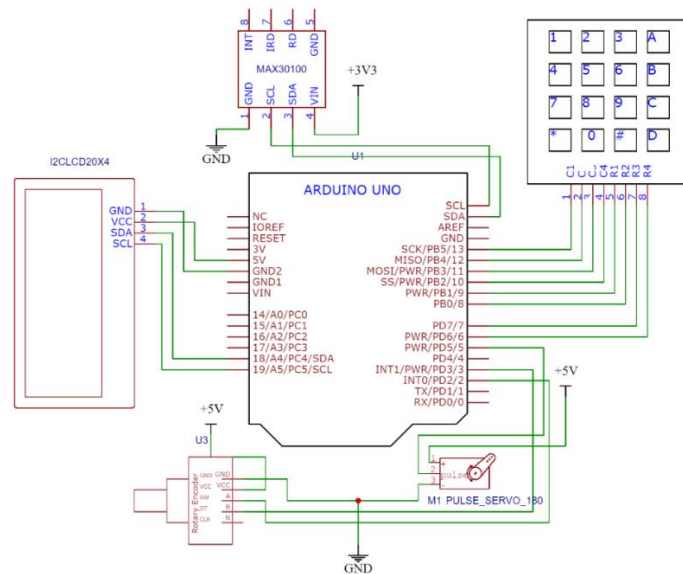
Gambar 5 Bracket Servo



Gambar 6 Bracket Servo dengan Knop Potensiometer

Bracket servo dengan ukuran panjang 5,2 cm dan lebar 3,5 cm digunakan untuk tempat servo dan menahan gerakan servo agar body servo tidak berputar bersama jarum. Knop potensiometer pada *speed controller* diputar menggunakan motor servo untuk menghasilkan tegangan keluaran sesuai dengan kebutuhan.

2.4 Perancangan Elektronik



Gambar 7 Rangkaian Elektronik

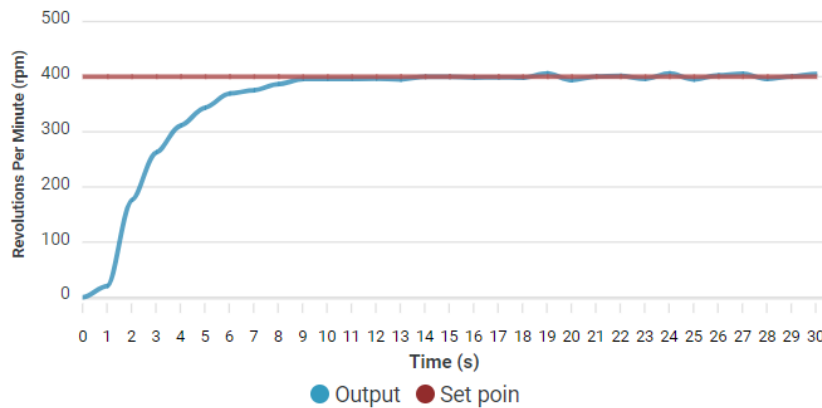
Tabel 1 Komponen Elektronika

Komponen	Pin
Keypad 4x4	D6 – D13
Modul Sensor MAX30100	3,3VDC, GND, A4, A5
Rotary Encoder	5VDC, GND D2 – D3
Motor DC	M(+), M(-)
Motor Servo SG90	5VDC, GND, D5
LCD 20x4 I2C	5VDC, GND, SDA, SCL

2.5 Perancangan Software

2.5.1 Perancangan PI Controller

Dalam menentukan nilai K_p dan K_i diperlukan *tuning* agar sistem memiliki respon sesuai dengan kebutuhan. Dalam penelitian ini *tuning* dilakukan dengan metode *Trial and Error*. Untuk menentukan nilai K_p diperlukan menambah nilai K_p sedikit demi sedikit dari 0.01 sampai kondisi grafik respon sistem menyentuh set poin. Dilanjutkan dengan menambahkan nilai K_i sedikit demi sedikit sampai menunjukkan respon sistem yang stabil pada set poin.



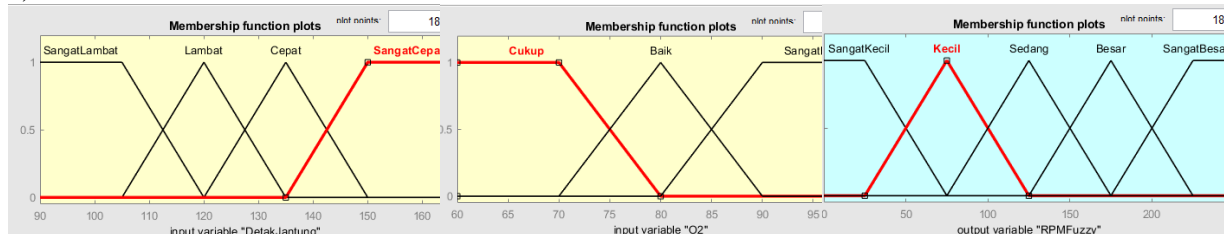
Gambar 8 Hasil Tuning

Setelah dilakukan proses *tuning* didapatkan nilai K_p sebesar 0,05 dan K_i sebesar 0,1 respon sistem menunjukkan hasil yang stabil pada set poin 400 rpm. Dengan nilai K_p yang rendah, sistem memiliki nilai *Rise Time* sebesar 9 detik artinya pergerakan menuju set poin sangat lambat akan tetapi sistem dapat menstabilkan keluaran sesuai dengan set poin. Hal tersebut sangat cocok digunakan pada *treadmill* karena pengguna tidak merasakan perubahan kecepatan yang sangat cepat. Hal tersebut didasari oleh kecepatan gerak servo saat merubah posisi sudut potensiometer, dimana hal tersebut ditentukan oleh besarnya nilai K_p .

2.5.2 Perancangan Logika Fuzzy

Sistem inferensi fuzzy yang digunakan pada pengendali kecepatan motor *treadmill* ini adalah Metode Sugeno. Pada metode sugeno, untuk mendapatkan output diperlukan beberapa tahapan, yaitu: Fuzzifikasi, Basis Pengetahuan, Mesin Inferensi, dan Defuzzifikasi. Komposisi aturan menggunakan operator AND, sedangkan untuk defuzzifikasi digunakan metode Weighted Average.

a) Fuzzifikasi



Gambar 9 Himpunan Fuzzy Detak Jantung

Gambar 10 Himpunan Fuzzy Kadar Oksigen

Gambar 11 Himpunan Fuzzy RPM FUZZY

Dari variabel yang ada, kemudian disusun domain himpunan fuzzy seperti gambar diatas. Berdasarkan domain tersebut, selanjutnya ditentukan fungsi keanggotaan dari masing – masing variabel. Himpunan fuzzy beserta fungsi keanggotaan dari variabel Detak Jantung, Kadar Oksigen, dan RPM FUZZY.

b) Basis Pengetahuan

Aturan - aturan dibentuk untuk menyatakan relasi antara input dan output. Tiap aturan merupakan suatu implikasi. Operator yang digunakan untuk menghubungkan antara dua input adalah operator AND, dan yang memetakan antara input-output adalah IF-THEN. Proposisi yang mengikuti *IF* disebut anteseden, sedangkan proposisi yang mengikuti *THEN* disebut konsekuen, maka dapat dibentuk aturan – aturan sebagai berikut :

1. *IF* Detak Jantung Sangat Lambat *AND* Kadar Oksigen Cukup, *THEN* RPM FUZZY Sedang
2. *IF* Detak Jantung Sangat Lambat *AND* Kadar Oksigen Baik, *THEN* RPM FUZZY Kecil
3. *IF* Detak Jantung Sangat Lambat *AND* Kadar Oksigen Sangat Baik, *THEN* RPM FUZZY Sangat Kecil
4. *IF* Detak Jantung Lambat *AND* Kadar Oksigen Cukup, *THEN* RPM FUZZY Besar
5. *IF* Detak Jantung Lambat *AND* Kadar Oksigen Baik, *THEN* RPM FUZZY Sedang
6. *IF* Detak Jantung Lambat *AND* Kadar Oksigen Sangat Baik, *THEN* RPM FUZZY Kecil
7. *IF* Detak Jantung Cepat *AND* Kadar Oksigen Cukup, *THEN* RPM FUZZY Sangat Besar
8. *IF* Detak Jantung Cepat *AND* Kadar Oksigen Baik, *THEN* RPM FUZZY Besar
9. *IF* Detak Jantung Cepat *AND* Kadar Oksigen Sangat Baik, *THEN* RPM FUZZY Sedang
10. *IF* Detak Jantung Sangat Cepat *AND* Kadar Oksigen Cukup, *THEN* RPM FUZZY Sangat Besar
11. *IF* Detak Jantung Sangat Cepat *AND* Kadar Oksigen Baik, *THEN* RPM FUZZY Sangat Besar
12. *IF* Detak Jantung Sangat Cepat *AND* Kadar Oksigen Sangat Baik, *THEN* RPM FUZZY Besar

c) Mesin Inferensi

Pada Metode Sugeno, fungsi implikasi yang digunakan adalah Min, yang berarti tingkat keanggotaan yang didapat sebagai konsekuen dari proses ini adalah nilai minimum dari variabel Detak Jantung dan Kadar Oksigen. Sehingga didapatkan daerah fuzzy pada variable RPM FUZZY untuk masing – masing aturan.

d) Defuzzifikasi

Pada perancangan output ini menggunakan 5 anggota membership function yaitu Sangat Kecil, Kecil, Sedang, Besar dan Sangat Besar. Perancangan 5 membership function untuk kontrol logika fuzzy sesuai dengan batas yang ditentukan. Metode defuzzifikasi yang digunakan yaitu Weighted Average yang memiliki rumus sebagai berikut :

$$Z = \frac{w_1 \times z_1 + w_2 \times z_2 + \dots + w_n \times z_n}{(z_1 + z_2 + \dots + z_n)} \quad (4)$$

Z = beban rata – rata

w = bobot (weight)

z = nilai elemen

n = jumlah total elemen

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Sensor MAX30100

a) Pengujian Sensor Detak Jantung dan Kadar Oksigen

Hasil pembacaan sensor MAX30100 dalam tabel dibawah. Hasil pembacaan detak jantung dan kadar oksigen dibandingkan dengan alat ukur, kemudian dicari persentase error dengan persamaan dibawah :

$$\text{Error}(\%) = \frac{\text{HROxymeter} - \text{HRMAX30100}}{\text{HRmax}} \times 100\% \tag{5}$$

Tabel 2 Pengujian MAX30100 Detak Jantung

HR MAX30100 (bpm)	HR Oxymeter (bpm)	Selisih pengukuran	Error (%)
59	57	2	0,9
65	65	0	0
63	62	1	0,4
83	82	1	0,4
91	90	1	0,4
77	77	0	0
74	75	1	0,4
89	87	2	0,4
112	110	2	0,9
97	98	1	0,4
Rata-Rata		0,92	0,42

Tabel 3 Pengujian MAX30100 Kadar Oksigen

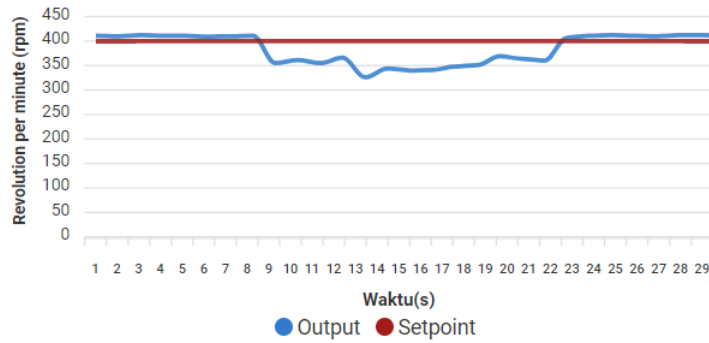
O2 MAX30100 (%)	O2 Oxymeter (%)	Selisih Pengukuran	Error (%)
95	94	1	1
96	95	1	1
94	96	2	2
97	97	0	0
96	96	0	0
92	91	1	1
93	94	1	1
88	89	1	1
90	92	2	2
87	88	1	1
Rata-Rata		1	1

Berdasarkan tabel 2 dapat disimpulkan bahwa rata rata selisih data detak jantung antara pembacaan MAX30100 dengan oxymeter termasuk kecil yaitu 0,92 dan memiliki rata rata error yaitu 0,42% yang termasuk kecil. Ini menunjukkan bahwa MAX30100 telah berjalan dengan baik dalam pembacaan detak jantung. Sedangkan, dari tabel 3 dapat disimpulkan bahwa rata rata selisih data kadar oksigen antara pembacaan MAX30100 dengan Oxymeter termasuk kecil yaitu 1 dan memiliki rata rata error yaitu 1% yang termasuk kecil. Ini menunjukkan bahwa MAX30100 telah berjalan dengan baik dalam pembacaan kadar oksigen dalam tubuh.

3.2 Pengujian *Propotional – Integral Controller*

a) Pengujian Tanpa *Propotional – Integral Controller*

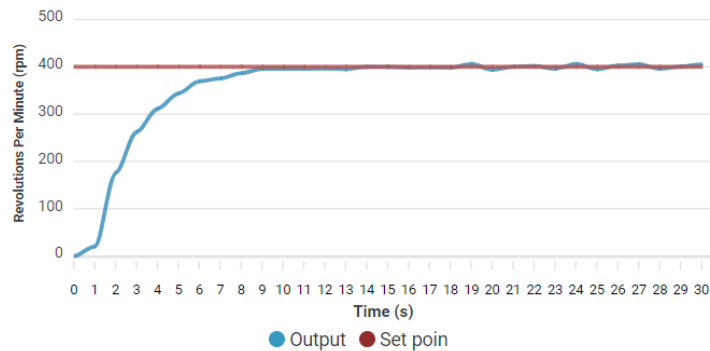
Dengan menggunakan *mapping* set poin RPM (0 – 800) dengan PWM (0 – 255) dihasilkan grafik percobaan sebagai berikut :



Gambar 12 Grafik Pengujian Tanpa PI Controller

b) Pengujian *Propotional – Integral Controller* Tanpa Beban

Dengan menggunakan nilai $K_p = 0,1$ dan $K_i = 0,05$ dihasilkan grafik sebagai berikut :



Gambar 13 Grafik Respon Sistem Tanpa Beban

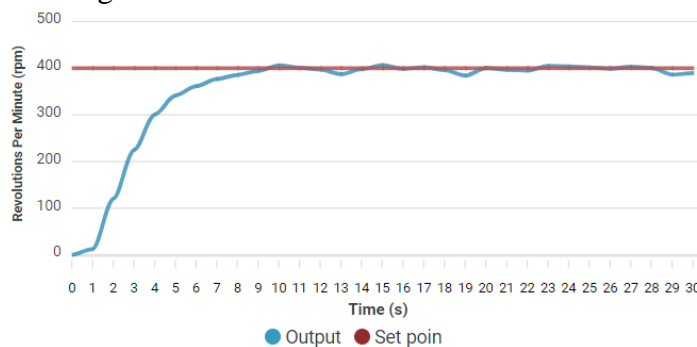
Gambar 4 merupakan respon sistem ketika diberikan set poin sebesar 400 rpm, sehingga didapatkan performa respon kurva sebagai berikut :

Tabel 3 Respon Sistem Tanpa Beban

Performa Respon Kurva	Hasil
<i>Rise Time</i>	9 s
<i>Settling Time</i>	9 s
<i>Delay Time</i>	-
<i>Peak Time</i>	9 s
<i>Overshoot</i>	2,4 %

c) Pengujian *Propotional – Integral Controller* Menggunakan Beban

Dengan menggunakan nilai $K_p = 0,05$ dan $K_i = 0,1$ dihasilkan grafik percobaan menggunakan beban sebagai berikut :



Gambar 14 Grafik Respon Sistem Menggunakan Beban

Gambar 15 merupakan respon sistem ketika diberikan set poin sebesar 400 rpm

dengan beban 72 kg, sehingga didapatkan performa respon kurva sebagai berikut :

Tabel 4 Respon Sistem Menggunakan Beban

Performa Respon Kurva	Hasil
Rise Time	9 s
Settling Time	10 s
Delay Time	-
Peak Time	10 s
Overshoot	2,1 %

3.3 Pengujian dan Analisa Fuzzy Logic Controller (FLC)

Tabel 5 Pengujian Fuzzy Logic Controller (FLC)

Detak Jantung (bpm)	Kadar Oksigen (%)	RPM Fuzzy (rpm)
98	97	25
105	96	25
90	83	70,50
110	72	129,76
140	92	141,67
109	87	67,72
152	89	175,50
118	75	138,47
187	95	175
119	83	105,69
141	74	193,89
170	84	193
128	71	182,69
107	97	37,44
133	96	118,33

Dengan menggunakan salah satu sampel data dari tabel 5, dapat dibuktikan dengan perhitungan secara manual. Variabel input yang digunakan yaitu :

Detak Jantung = 140 bpm

Kadar O2 = 92 %

Variabel : Detak Jantung

$$\mu_{Cepat}(140) = \frac{150 - x}{(150 - 135)} = \frac{150 - 140}{(150 - 135)} = \frac{10}{15} = 0,66 \tag{6}$$

$$\mu_{SangatCepat}(140) = \frac{x - 135}{(150 - 135)} = \frac{140 - 135}{(150 - 135)} = \frac{5}{15} = 0,33 \tag{7}$$

Variabel : Kadar O2

$$\mu_{SangatBaik}(92) = 1 \tag{8}$$

Setelah didapatkan derajat keanggotaan dari kedua input yang ditentukan maka hasil tersebut dimasukkan ke dalam Rule Base sebagai berikut :

[R9] IF Detak Jantung Cepat AND Kadar Oksigen Sangat Baik, THEN RPM FUZZY

Sedang

$$w_9 = \mu_{Cepat}(x) \cap \mu_{SangatBaik}(x)$$

$$\begin{aligned}
 &= \min(\mu_{Cepat}(140) \cap \mu_{SangatBaik}(92)) \\
 &= \min(0,66 ; 1) \\
 &= 0,66 \\
 z_9 &= 175 - (50 * w_5) \\
 &= 175 - (50 * 0,66) \\
 &= 175 - 33 \\
 &= 142
 \end{aligned}$$

[R12] IF Detak Jantung Sangat Cepat AND Kadar Oksigen Sangat Baik, THEN RPM FUZZY Besa

$$\begin{aligned}
 w_{12} &= \mu_{SangatCepat}(x) \cap \mu_{SangatBaik}(x) \\
 &= \min(\mu_{SangatCepat}(140) \\
 &\quad \cap \mu_{SangatBaik}(92)) \\
 &= \min(0,33 ; 1) \\
 &= 0,33 \\
 z_{12} &= (50 * w_{12}) + 125 \\
 &= (50 * 0,33) + 125 \\
 &= 16,5 + 125 \\
 &= 141,5
 \end{aligned}$$

Defuzzifikasi :

$$\begin{aligned}
 Z &= \frac{w_9 \times z_9 + w_{12} \times z_{12}}{(w_9 + w_{12})} \\
 &= \frac{(0,66 \times 142) + (0,33 \times 141,5)}{(0,66 + 0,33)} \\
 &= \frac{93,72 + 46,69}{0,99} \\
 &= 141,82 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

Pada pengujian menggunakan arduino menghasilkan output RPM Fuzzy dengan nilai 141 rpm, sedangkan hasil dari perhitungan secara manual dihasilkan output dengan nilai 141,82 rpm. Terdapat perbedaan nilai yang sangat kecil sehingga memiliki error sebesar 0,57%. Dapat disimpulkan bahwa *Fuzzy Logic Controller (FLC)* dapat bekerja dengan baik.

3.4 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian 1 : Usia 22 th, Berat Badan 53 Kg

Tabel 6 Hasil Pengujian Keseluruhan I

Menit ke -	HR (bpm)	O2 (%)	MIN (bpm)	MAX (bpm)	SP (rpm)	PV (rpm)	Selisih	Error (%)
0	70	96	118	158	0	0	0	0
1	76	96			775,90	775,41	0,49	0,06
2	82	96			775,90	779,38	3,48	0,43
3	87	96			775,90	737,29	38,61	4,82
4	97	94			775,90	774,66	1,24	0,15
5	114	95			775,90	792,16	16,26	2,03
6	127	95			677,56	678,66	1,1	0,13
7	130	95			667,56	681,04	13,38	1,67

8	142	95			627,56	637,61	10,05	1,25
9	126	95			680,90	690,04	9,14	1,14
10	121	95			697,56	690,49	7,07	0,88
Rata-rata :							10,08	1,31

Pengujian 2 : Usia 24 th, Berat Badan 74 Kg

Tabel 7 Hasil Pengujian Keseluruhan II

Menit ke -	HR (bpm)	O2 (%)	MIN (bpm)	MAX (bpm)	SP (rpm)	PV (rpm)	Selisih	Error (%)
0	75	95	117	156	0	0	0	0
1	92	95			717,58	716,73	0,85	0,11
2	98	95			717,58	716,24	1,34	0,16
3	106	95			717,58	706,20	11,38	1,42
4	111	95			717,58	714,44	3,14	0,39
5	120	95			642,58	640,99	1,59	0,19
6	122	95			635,92	632,25	3,67	0,45
7	145	94			559,25	555,46	3,79	0,47
8	137	94			585,92	572,46	13,46	1,68
9	124	95			629,25	621,96	7,29	0,91
10	140	85	554,25	557,07	2,82	0,35		
Rata-rata :							4,33	0,61

Pengujian 3 : Usia 26 th, Berat Badan 78 Kg

Tabel 8 Hasil Pengujian Keseluruhan III

Menit ke -	HR (bpm)	O2 (%)	MIN (bpm)	MAX (bpm)	SP (rpm)	PV (rpm)	Selisih	Error (%)
0	75	96	116	155	0	0	0	0
1	81	95			684,40	667,61	16,79	2,09
2	88	96			684,40	692,68	8,28	1,03
3	97	96			684,40	678,08	6,32	0,79
4	104	96			684,40	690,43	6,03	0,75
5	109	96			684,40	687,36	2,96	0,37
6	117	96			611,40	609,49	1,91	0,23
7	131	96			572,73	573,59	0,86	0,1
8	153	95			509,40	503,84	5,56	0,69
9	115	94			684,40	664,76	19,64	2,45
10	105	95	684,40	669,34	15	1,87		
Rata-rata :							8,34	1,03

4. KESIMPULAN

1. Sistem kontrol kecepatan *treadmill* berdasarkan detak jantung dan kadar oksigen dalam tubuh sudah berhasil diterapkan menggunakan modul sensor MAX30100 sebagai pendeteksi detak jantung dan kadar oksigen dalam tubuh, rotary encoder sebagai sensor kecepatan *treadmill* yang berfungsi sebagai feedback, dan motor servo yang digunakan untuk mengatur posisi sudut potensiometer sesuai dengan set poin kecepatan yang ditentukan oleh usia dan berat badan.
2. Implementasi kendali logika fuzzy berhasil dilakukan dengan menggunakan perhitungan keluaran fuzzy *Weighted Average* pada sistem *treadmill* yang direncanakan. Hal tersebut dapat dibuktikan melalui perbandingan nilai keluaran logika fuzzy pada sistem dan

- perhitungan secara manual. Dengan melakukan pengujian logika fuzzy menggunakan nilai detak jantung sebesar 98 bpm dan kadar oksigen sebesar 97%. Pengujian pada Arduino IDE memiliki nilai keluaran sebesar 141 rpm, sedangkan pada perhitungan secara manual memiliki nilai keluaran sebesar 141,82 rpm sehingga didapatkan nilai error sebesar 0,32% .
3. Kendali PI dapat berjalan dengan baik dengan menstabilkan kecepatan motor DC sesuai dengan set poin. Hal tersebut dapat dibuktikan melalui parameter – parameter seperti *Rise Time* sebesar 9 detik, *Settling Time* sebesar 9 detik, *Peak Time* sebesar 9 detik dan *Overshoot* yang kecil yaitu 2,4% tanpa beban. Sedangkan, ketika menggunakan beban sebesar 72 kg kendali PI menghasilkan nilai *Rise Time* sebesar 9 detik, *Settling Time* sebesar 10 detik, *Peak Time* sebesar 10 detik dan *Overshoot* yang kecil yaitu 2,1%.
 4. Sensor MAX30100 dapat mendeteksi detak jantung dan kadar oksigen dalam tubuh dengan baik, dibuktikan dari nilai error yang kecil yaitu 0,42% untuk detak jantung dan 1% untuk kadar oksigen dalam tubuh.
 5. Motor Servo berfungsi dengan baik sebagai pengatur kecepatan motor DC dengan mengatur posisi sudut potensiometer pada speed controller LY-820 sesuai dengan set poin kecepatan yang dibutuhkan.
 - 6.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rompas, S. E., Pangkahila, E. A., & Polii, H. (2020). Perbandingan Saturasi Oksien Sebelum dan Sesudah Melakukan Latihan Fisik Akut pada Mahasiswa Fakultas Kedokteran Unsrat Angkatan 2019. *EBiomedik*, 8(1), 41–45. <https://doi.org/10.35790/ebm.8.1.2020.271>
- [2] Siswoyo & Gebyar Wahyu Putra. (2018). Pengendali Proporsional Integral Kecepatan Motor Dc Treadmill Berbasis Mikrokontroler.
- [3] Barasi, Kartika Miracelina, Iwan Krisnadi.(2022), Pengaruh Aktivitas Fisik Terhadap Saturasi Oksigen Pada Relawan Sar Karanganyar.
- [4] Sandi, I Nengah. (2016). Pengaruh Latihan Fisik Terhadap Frekuensi Denyut Nadi. *Sports and Fitness Journal*. 4(2). 1 – 6.
- [5] Amalia, S., M., Fadhli. (2019). Pengaturan Kecepatan Motor DC Pada Aplikasi Belt Konveyor Menggunakan Logika Fuzzy Berbasis MC. *JURNAL TEKNIK ELEKTRO ITP*, 8(1), <https://doi.org/https://jte.itp.ac.id/index.php/jte/article/view/216>
- [6] Wohingati, G. W., & Subari, A.(2015). Alat pengukur Detak Jantung Menggunakan Pulse Sensor Berbasis Arduino Uno R3 yang Diintegrasikan Dengan Bluetooth. *Gema Teknologi*, 17(2). <https://doi.org/10.14710/gt.v17i2.8919>
- [7] Hidayati, Q., & Prasetyo, M. E. (2016). Pengaturan Kecepatan motor DC dengan Menggunakan Mikrokontroler Berbasis Fuzzy-PID. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 4(1). <https://doi.org/10.32487/jtt.v4i1.123>
- [8] Wanda. (2023, February 2). Mengenal Perbedaan 2 jenis motor Pada Treadmill. *GYMFITNESSINDO*. <https://gymfitnessindo.com/mengenal-perbedaan-2-jenis-motor-pada-treadmill>
- [9] Halodoc, R. (2020, November 26). Ketahui Detak Jantung Yang ideal Saat Berolahraga. halodoc. <https://www.halodoc.com/artikel/ketahui-detak-jantung-yang-ideal-saat-berolahraga>
- [10] PID Control Tutorial Arduino Control RPM / Speed / Kecepatan DC Motor. YouTube. (2017, December 28). <https://youtu.be/uj9DgzvCaSU>
- [11] Sistem Kontrol- Perhitungan dan Pemrograman Kontrol Proporsional Integral (PI) Pada Motor DC. YouTube. (2020, June 25). <https://youtu.be/k1aHV5FaSII?si=W8xAwTM45veQEeTA>
- [12] Staff, L. E. (2023, November 30). Interfacing MAX30100 pulse oximeter and heart