

Model Purwarupa Pengukuran Kondisi Tubuh saat Olah Raga Aerobik dengan Metode Fuzzy Mamdani Model Purwarupa

Dodi Setiabudi¹ dan Andina Maharani²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember
Jl. Kalimantan No. 37, Jember 68121
Email: dod@unej.ac.id

Abstrak—Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan ilmu kesehatan dan teknologi berupa alat pencegahan kelelahan yaitu mengukur kondisi tubuh berupa detak jantung dan laju napas manusia. Kemudian bisa mengambil keputusan berupa keadaan lanjut atau berhenti serta dapat dimonitor dari jarak jauh menggunakan radio *telemetry*. Diharapkan alat ini akan memberi manfaat bagi pengguna yang aktif berolahraga khususnya jenis aerobik. Alat pengukur kondisi tubuh ini menggunakan sensor detak jantung dan laju napas. Sensor laju napas terbuat dari sensor tekanan berbasis Arduino UNO. Sensor ini dapat digunakan untuk merancang alat pendeteksi kondisi tubuh saat berolahraga sehingga dapat mengetahui batas maksimum untuk mencegah kelelahan. Pengambilan keputusan menggunakan metode *fuzzy logic*. Kontrol *output fuzzy* yaitu kondisi lanjut ketika kondisi detak jantung pelan hingga berat dengan *range* antara 40 sampai 165 bpm dan kondisi laju napas lambat hingga normal dengan *range* 13 sampai 20 bpm, dianggap kondisi berhenti ketika kondisi detak jantung anaerob dengan *range* >165 bpm dan kondisi laju napas cepat dengan *range* >20 bpm. Hasil pengujian sensor detak jantung memiliki *error* persen = 2,58 %. Uji sensor laju napas memiliki *error* persen = 5,08 %. Sistem pengujian *output fuzzy* yang dilakukan telah sesuai dengan rule base. Hasil pengukuran jarak maksimum pengiriman radio sejauh 140 meter tanpa penghalang dan 96 meter dengan penghalang.

Kata kunci: kelelahan, *fuzzy logic*, sensor detak jantung, sensor laju napas, Arduino UNO, radio *telemetry*.

Abstract— This project aims to develop the science of health and technology in the form of prevention of fatigue by measuring the condition of the body in the form of heart rate and human respiratory rate. Then can take the decision of a state of continued or stopped and can be monitored remotely using radio *telemetry*. It is expected that this tool will provide benefits for teens who are exercising, especially cycling. This body condition meter uses the heartbeat and breathing rate sensors. The breathing rate sensor is made of Arduino UNO-based pressure sensors. This sensor can be used to design the body condition detector while exercising so as to know the maximum limit to avoid fatigue. The decision making of the system is using *fuzzy logic* method. *Fuzzy output* controls are advanced conditions when the heart rate condition is slow to severe with a range of between 40 to 165 bpm and a normal slow breathing rate with a range of 13 to 20 bpm, considered to be a stop condition when anaerobic heart rate with *range* > 165 bpm and rate conditions rapid breathing with *range* > 20 bpm. Heart rate sensor test results have an average percent error of 2,58 %. The results of the breath rate sensor tests have an average percent error of 5.08 %. The *fuzzy output* test results are in accordance with the rule base. Results of measuring the maximum distance of radio delivery are as far as 140 meters without a barrier and 96 meters with a barrier.

Keywords: kelelahan, *fuzzy logic*, heartbeat, breathing rate sensor, Arduino UNO, radio *telemetry*.

I. PENDAHULUAN

Jenis olahraga aerobik adalah jenis olahraga yang menggunakan energi dari hasil pembakaran oksigen, dilakukan secara sistematis dengan meningkatkan beban secara bertahap dan terus-menerus tanpa menimbulkan kelelahan. Olahraga aerobik bermacam-macam yaitu jalan, *jogging*, lari, bersepeda dan renang. Tubuh memiliki kemampuan untuk mengatur energi dalam menghadapi keadaan darurat yang mungkin timbul, hal ini disebut kebugaran fisik. Sehingga tubuh tetap dapat melakukan aktivitas dan berfungsi secara efektif. Selama melakukan olahraga aerobik ini perlu diperhatikan intensitas waktu latihan yang perlu direncanakan sebelumnya [1].

Kelelahan merupakan gejala serius yang harus didiagnosis, meskipun hal tersebut jarang terjadi selama

dilakukannya olahraga. Sehingga perlunya pengembangan akan sebuah metode kesehatan tentang pelaksanaan olahraga yang tepat. Sistem deteksi secara dini akan memperkecil kemungkinan adanya latihan olahraga yang membahayakan [2].

Olahraga memiliki pengaruh yang sangat besar pada sistem sirkulasi dan pernapasan. Kedua hal tersebut selalu berjalan beriringan sebagai respon dari *homeostasis* yang dilakukan saat olahraga tingkat sedang hingga olahraga berat. Olahraga juga mempengaruhi turunnya tekanan darah sementara dibawah normal, hal ini mungkin disebabkan karena adanya penumpukan metabolit sehingga dalam periode singkat pembuluh otot tetap berdilatasi. Setelah beberapa saat tekanan darah akan kembali normal seperti sebelum olahraga, sedangkan untuk denyut jantung lebih lambat kembali normal [3].

Diagnosa hasil denyut jantung per menit sangat mempengaruhi kondisi fisik maupun mental seseorang. Hal ini dikarenakan perubahan kondisi fisik dan mental sulit diamati. Perubahan ini yang mengakibatkan perubahan frekuensi denyut jantung tiap menitnya. Kecepatan frekuensi jantung dipengaruhi oleh banyak hal misalnya olahraga misalnya maka akan melemahkan sistem metabolik di jantung. Perubahan suhu sangat mempengaruhi kinerja jantung, sehingga perlu dilakukan pengaturan suhu tubuh saat berolahraga [4].

Pada bidang kedokteran diperlukan adanya teknologi pemantauan kondisi pasien dari jarak jauh tanpa menggunakan kabel. Dari hasil pemantauan tersebut diharapkan adanya sistem yang dapat memantau kondisi secara keseluruhan dan dapat menganalisisnya tanpa harus melihat langsung [5]. Teknologi yang digunakan untuk pemantauan kondisi pasien menggunakan modul canggih yang dapat memantau pasien kelainan jantung dan gangguan fisik. Sensor yang digunakan pada pemantauan ini menggunakan sensor detak jantung dan sensor suhu. Sensor yang digunakan harus lebih akurat sehingga tidak diperlukan lagi pengukuran menggunakan alat ukur tradisional seperti termometer atau perangkat lainnya [6].

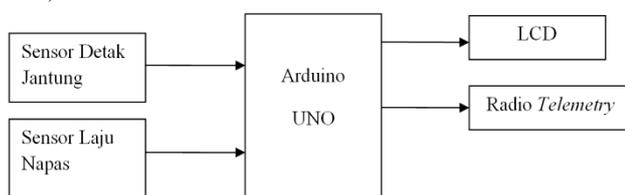
Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan model purwarupa pengukuran detak jantung dan laju napas untuk pencegahan kelelahan sehingga dapat meminimalkan cedera yang diakibatkan dan dapat dipantau dari jarak jauh hasil pengukurannya.

II. METODE

A. Perancangan Sistem

Pada alat yang telah dibuat merupakan alat yang dapat mendeteksi kelelahan manusia berdasarkan dua tanda vital yang diukur. Untuk mengetahui kelelahan tersebut dilakukan pengukuran tanda vital berupa detak jantung dan laju napas manusia. Dari hasil pengukuran tanda vital tersebut maka dapat diketahui kondisi tubuh saat berolahraga aerobik untuk mencegah terjadinya kelelahan. Kondisi tubuh tersebut diolah dengan sebuah metode yaitu logika fuzzy. Logika fuzzy dapat menyimpulkan hasil pengukuran kondisi tubuh saat lelah. Dengan adanya logika fuzzy alat akan memberitahu untuk dapat melanjutkan olahraga atau harus berhenti.

Pada penelitian ini menggunakan rangkaian sensor detak jantung dan sensor laju napas, kedua sensor tersebut sebagai masukan ke mikrokontroler berupa Arduino UNO, kemudian keluaran dari mikrokontroler ditampilkan pada LCD dan data dikirim melalui frekuensi radio untuk dapat diterima dan dibaca di laptop maupun *handphone* (*support OTG*).



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

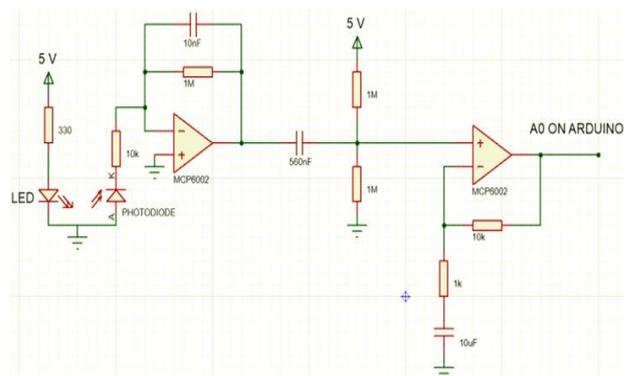
Prinsip kerja alat ini yaitu mengukur parameter dari detak jantung dan laju napas manusia dalam satu menit yang kemudian diproses oleh Arduino untuk menentukan kesimpulan kondisi tubuh menggunakan fuzzy. Hasil pengukuran parameter tersebut dan hasil kesimpulan ditampilkan pada LCD dan disimpan pada *SD card*, hasil pengukuran tersebut dapat dimonitor dari jarak jauh dengan menggunakan radio *telemetry*.

B. Sensor Detak Jantung (*Pulse Sensor*)

Sensor detak jantung pada gambar 2 merupakan sensor yang dapat membaca jumlah denyut pada jantung tiap menitnya dengan satuan BPM (*beats per minute*). Sensor detak jantung ini menggunakan *pulse sensor* yang telah mendukung Arduino dengan satuan BPM (*beats per minute*). Sensor ini merupakan sensor yang diletakkan di jari dengan membaca sinyal yang telah dikuatkan amplitudonya lalu kembali ke titik referensi [8].



Gambar 2. Sensor Detak Jantung



Gambar 3. Rangkaian Sensor Detak Jantung

Pada Gambar 3 merupakan rangkaian yang ada dibalik sensor detak jantung. Rangkaian tersebut merupakan kombinasi dari rangkaian *finger cuff*, *transimpedance stage*, *high-pass filter*, and *AC gain-stage*. Rangkaian *finger cuff* merupakan rangkaian *input* yaitu terdiri LED dan fotodiode yang membaca plasma darah pada permukaan kulit.

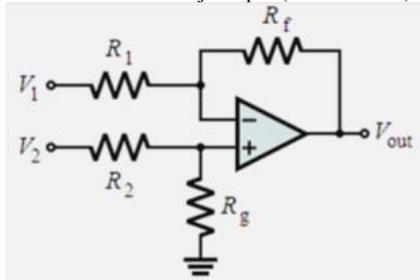
D. Sensor Laju Napas (MPX2010DP)

Sensor laju napas pada gambar 4 merupakan sensor yang dapat membaca jumlah respirasi pada paru-paru tiap menitnya dengan satuan BPM (*breaths per minute*). Sensor laju napas ini dibuat menggunakan sensor tekanan tipe MPX2010DP dengan satuan berupa BPM (*breath per minute*). Sensor ini bekerja pada tegangan DC 5V dengan arus 7 mA. Data yang dikeluarkan berupa data analog.

Sensor tekanan ini memiliki 2 *input* yaitu tekanan udara masuk dan tekanan udara keluar. Udara masuk menggunakan tekanan udara pada suntikan yang telah diatur tekanannya dan udara keluar merupakan tarikan napas yang diambil melalui masker oksigen yang diletakkan dihidung. Dimana perbedaan nilai dari udara masuk dan keluar tersebut akan menjadi nilai yang dihitung sebagai perhitungan adanya laju napas. Sehingga jika nilai udara keluar melebihi nilai batas udara masuk (324 dalam nilai ADC) maka dianggap ada laju napas dan nilai tersebut langsung dikonversikan dalam 1 menit [9].



Gambar 4. Sensor Laju Napas (MPX2010DP)



Gambar 5. Rangkaian Penguat Diferensial

Fungsi adanya rangkaian penguat diferensial (gambar 5) pada sensor laju napas yang terbuat dari sensor tekanan yaitu mengkonversi variabel dinamik ke dalam sinyal elektrik. Rangkaian ini menggunakan rangkaian *inverting*.

E. Perancangan *Output* Sistem *Telemetry*

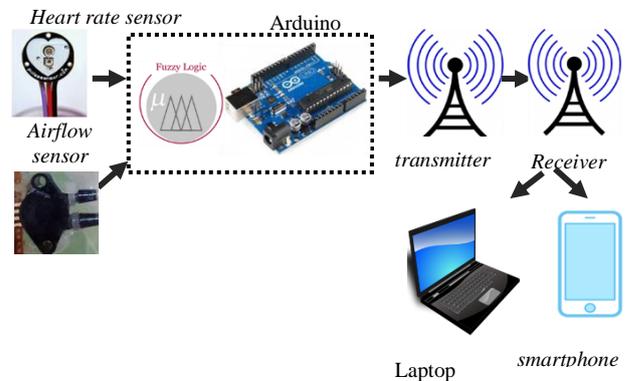
Hasil keluaran pada sistem akan ditampilkan di LCD dengan ukuran 16x2. Hasil pengukuran yang ditampilkan yaitu pada baris pertama terdapat hasil pengukuran laju napas yang disingkat menjadi LN dan hasil pengukuran detak jantung yang disingkat menjadi DJ. Pada baris kedua ada hasil kondisi dari *output* fuzzy berupa kondisi lanjut atau berhenti dan nilai pengaturan *threshold* dari sensor laju napas.



Gambar 6. Tampilan LCD

Selain tampilan pada LCD adapula hasil *output* yang dikirimkan melalui frekuensi radio (*telemetry*). Data yang dikirim secara *telemetry* yaitu pengukuran laju napas, detak jantung, dan *output* fuzzy saja. Hasil pengukuran ini ditampilkan pada komputer yang *support* dan ter-*instal*

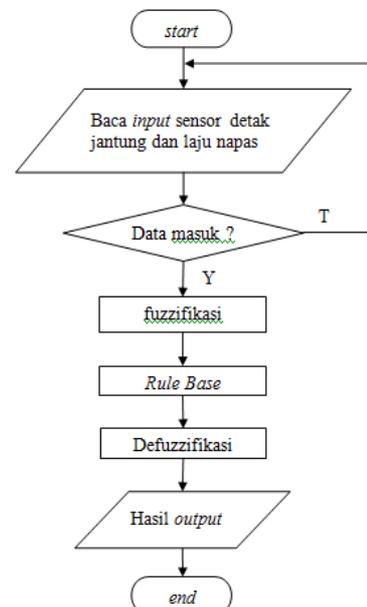
Arduino karena radio yang digunakan juga radio yang *support* Arduino. Jika pada Arduino untuk menampilkan hasil *output* dengan cara ditampilkan pada serial monitor yang telah tersedia pada *software* tersebut. Untuk tampilan pada lainnya bisa ditampilkan pada *smartphone* yang telah *support* OTG. Pada *smartphone* diperlukan *software* serial USB terminal dengan kecepatan pengiriman data disesuaikan dengan program pada Arduino yaitu 57600 *baudrate*. Pada gambar 7 ditampilkan skema perancangan sistem *telemetry*.



Gambar 7. Skema Perancangan Sistem *Telemetry*

F. Desain Kontrol *Fuzzy*

Fuzzyfikasi (*fuzzification*) merupakan proses penentuan nilai masukan derajat keanggotaan dari suatu variabel numerik non-fuzzy menjadi himpunan fuzzy [7]. Untuk mendesain fuzzy pengukuran kondisi tubuh saat olah raga aerobik diperlukan pemilihan parameter yang akan diuji. Pemilihan parameter ini telah dikonsultasikan dengan dokter yang ahli pada bidang fisiologi. Parameter yang terpilih sebagai *input* yaitu detak jantung dan laju napas manusia, sedangkan *output* yang dihasilkan berupa kondisi lanjut dan berhenti.



Gambar 8. Flowchart *Fuzzy Logic*

Proses fuzzyfikasi yaitu mengumpulkan informasi data detak jantung dan laju napas. Dari data tersebut kemudian dikategorikan menjadi masing-masing himpunan. Untuk

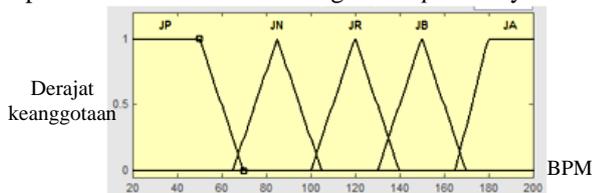
detak jantung terdapat 5 himpunan dan fungsi keanggotaan berupa pelan, normal, aktivitas ringan, aktivitas berat, dan anaerob, sedangkan untuk laju napas terdapat 3 himpunan dan fungsi keanggotaan berupa lambat, normal, dan cepat. Kedua proses pembuatan *rule base* yaitu menentukan aturan-aturan untuk himpunan yang telah didesain seperti dijelaskan pada gambar 8. Dari 5 himpunan detak jantung dan 3 himpunan laju napas maka didapatkan 15 aturan untuk dua kondisi yaitu berhenti atau lanjut. Terakhir proses defuzzifikasi yaitu jika sensor mendeteksi suatu nilai maka nilai tersebut akan langsung dihitung derajat keanggotaannya untuk dikonversikan ke dalam suatu himpunan yang telah dibuat. Proses ini merupakan proses realisasi dari fuzzifikasi.

Dari nilai himpunan yang dihasilkan dari detak jantung dan laju napas dapat ditentukan aturan yang sesuai untuk kondisi tersebut. Tabel 1 menunjukkan hasil desain yang telah dibuat dan dikonsultasikan dengan pakar :

Tabel 1. Parameter Sensor Detak Jantung

Parameter	Beat Per Minute (BPM)
Pelan	<70
Normal	65 – 105
Aktivitas Ringan	100 – 140
Aktivitas Berat	130 – 170
Anaerob	>165

Dari parameter pada Tabel 1 dapat direpresentasikan dalam sebuah grafik *input* fuzzy untuk menentukan titik detak jantung yang sesuai. Pada Gambar 9 variabel suhu tubuh didefinisikan lima himpunan fuzzy, yaitu, PELAN, NORMAL, AKTIVITAS RINGAN, AKTIVITAS BERAT dan ANAEROB. Dari parameter tersebut dapat direpresentasikan dalam sebuah grafik *input* fuzzy.



Gambar 9. Representasi Variabel Himpunan Fuzzy Detak Jantung

Pada himpunan fuzzy lima variabel dari himpunan detak jantung, variabel JP (Jantung Pelan) merupakan fungsi keanggotaan dari himpunan detak jantung pelan. Variabel JN (Jantung Normal) merupakan fungsi keanggotaan dari himpunan detak jantung normal. Variabel JR (Jantung Ringan) merupakan fungsi keanggotaan dari himpunan detak jantung aktivitas ringan. Variabel JB (Jantung Berat) merupakan fungsi keanggotaan dari himpunan detak jantung aktivitas berat. Variabel JA (Jantung Anaerob) merupakan fungsi keanggotaan dari himpunan detak jantung anaerob. Adapun sumbu vertikal merupakan derajat keanggotaan dari nilai *input* variabel detak jantung. Berikut sumbu keanggotaan dari variabel detak jantung:

$$\mu_{pelan} = \begin{cases} 1; z_1 \leq 50 \\ \frac{50-z_1}{20}; 50 \leq z_1 \leq 70 \\ 0; z_1 \geq 70 \end{cases}$$

$$\mu_{normal} = \begin{cases} 0; z_1 \leq 65 \\ \frac{z_1-65}{20}; 65 \leq z_1 \leq 85 \\ \frac{105-z_1}{20}; 85 \leq z_1 \leq 105 \end{cases}$$

$$\mu_{ringan} = \begin{cases} 0; z_1 \leq 100 \\ \frac{z_1-100}{20}; 100 \leq z_1 \leq 120 \\ \frac{140-z_1}{20}; 120 \leq z_1 \leq 140 \end{cases}$$

$$\mu_{berat} = \begin{cases} 0; z_1 \leq 130 \\ \frac{z_1-130}{20}; 130 \leq z_1 \leq 150 \\ \frac{170-z_1}{20}; 150 \leq z_1 \leq 170 \end{cases}$$

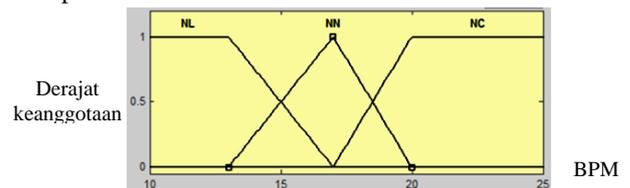
$$\mu_{anaerob} = \begin{cases} 0; z_1 \leq 165 \\ \frac{z_1-165}{15}; 165 \leq z_1 \leq 180 \\ 1; z_1 \geq 180 \end{cases}$$

keterangan : z1 = hasil pengukuran detak jantung

Tabel 2. Parameter Laju Napas

Parameter	Laju Napas
Lambat	<17
Normal	13-20
Cepat	>17

Dari parameter pada Tabel 2 dapat direpresentasikan dalam sebuah grafik *input* fuzzy untuk menentukan laju napas yang sesuai. Pada Gambar 10 variabel laju napas didefinisikan tiga himpunan fuzzy, yaitu lambat, normal dan cepat.



Gambar 10. Representasi Variabel Himpunan Fuzzy Laju Napas

Pada himpunan fuzzy laju napas, variabel NL (Nafas Lambat) merupakan fungsi keanggotaan dari himpunan laju napas lambat. Variabel NN (Nafas Normal) merupakan fungsi keanggotaan dari himpunan laju napas normal. Variabel NC (Nafas Cepat) merupakan fungsi keanggotaan dari himpunan laju napas cepat. Adapun sumbu vertikal merupakan derajat keanggotaan dari nilai *input* variabel laju napas. Berikut sumbu keanggotaan dari variabel laju napas:

$$\mu_{lambat} = \begin{cases} 1; z_2 \leq 13 \\ \frac{17-z_2}{4}; 13 \leq z_2 \leq 17 \\ 0; z_2 \geq 17 \end{cases}$$

$$\mu_{normal} = \begin{cases} 0; z_2 \leq 13 \\ \frac{z_2-13}{4}; 13 \leq z_2 \leq 17 \\ \frac{20-z_2}{3}; 17 \leq z_2 \leq 20 \end{cases}$$

$$\mu_{cepat} = \begin{cases} 0; z_2 \leq 17 \\ \frac{z_2-17}{3}; 17 \leq z_2 \leq 20 \\ 1; z_2 \geq 20 \end{cases}$$

keterangan : z2 = hasil pengukuran laju napas

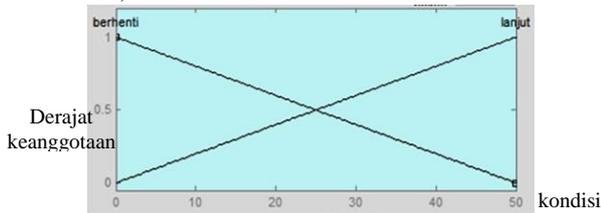
Kontrol *fuzzy output*, merupakan hasil keputusan dari *rules* yang telah dibuat yang berdasarkan nilai detak jantung dan laju napas. *Output* tersebut akan dipengaruhi oleh dua *input* yang telah ditentukan dan dapat berubah-

ubah berdasarkan nilai ADC yang dikeluarkan oleh dua sensor.

Tabel 3. Output Fuzzy Set

Parameter	Nilai
Berhenti	0-50
Lanjut	0-50

Dari parameter pada Tabel 6 dapat direpresentasikan dalam sebuah grafik *output* fuzzy untuk menentukan keluaran yang sesuai. Pada Gambar 20 variabel *output* didefinisikan dua himpunan fuzzy, yaitu BERHENTI, dan LANJUT.



Gambar 11. Representasi Variabel Himpunan Output Fuzzy

Adapun sumbu vertikal merupakan tingkat keanggotaan dari nilai *input* variabel detak jantung dan laju napas. Berikut sumbu keanggotaan dari variabel berhenti dan lanjut:

$$\mu_{berhenti} = \begin{cases} 0; & z3 \geq 50 \\ \frac{50-z3}{50}; & 0 \leq z3 \leq 50 \end{cases}$$

$$\mu_{lanjut} = \begin{cases} 0; & z3 \leq 0 \\ \frac{z3-0}{50}; & 0 \leq z3 \leq 50 \end{cases}$$

keterangan : z3 = hasil kondisi dari *output* fuzzy

Dari beberapa data *input* yang didapat, maka dibuat suatu aturan atau *rule* yang akan menghasilkan keputusan dari *fuzzy controller*. Keputusan ini nantinya yang akan berperan sebagai *output*. Dasarnya *rule* ini adalah sebuah *rule if - and - then* yang mudah dimengerti karena hanya merupakan kata-kata terdapat 15 *rule* yang menghasilkan *output* yang menunjukkan hubungan antara detak jantung dan laju napas yang akan menghasilkan *output* berupa kondisi tubuh yaitu dapat lanjut atau harus berhenti.

Tabel 4. Rule Base

Detak Jantung \ Laju Napas	Pelan	Normal	Ringan	Berat	Anaerob
Lambat	Lanjut	Lanjut	Lanjut	Lanjut	Berhenti
Normal	Lanjut	Lanjut	Lanjut	Lanjut	Berhenti
Cepat	Berhenti	Berhenti	Berhenti	Berhenti	Berhenti

G. Implementasi Perangkat Keras

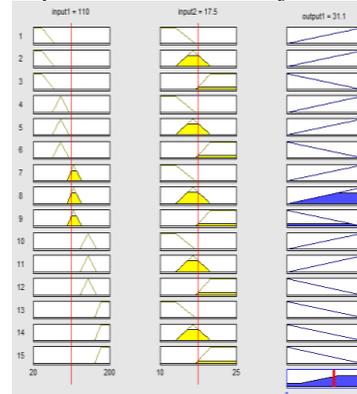
Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya alat yang telah dibuat menggunakan sensor detak jantung dan laju napas (gambar 12 dan 13). Untuk mikrokontrolernya menggunakan Arduino Uno. Sistem yang telah dibuat dapat menampilkan hasil pengukuran kondisi detak jantung dan laju napas. Pemilihan dua parameter tersebut untuk dapat mencegah terjadinya *kelelahan* saat berolahraga. Dari hasil pengukuran juga dapat langsung diambil kesimpulan berupa kondisi berhenti atau lanjut menggunakan logika fuzzy. Berikut hasil alat yang telah dibuat:



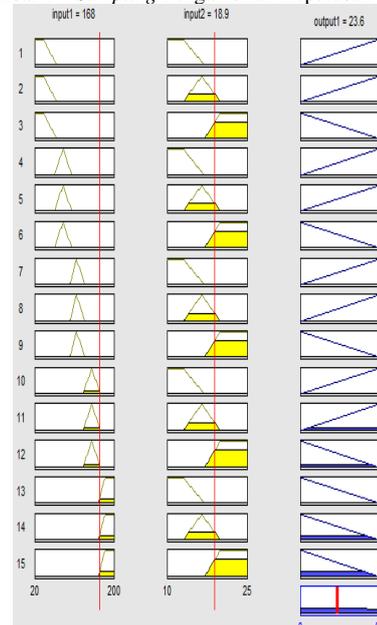
Gambar 13. Antena Radio dan USB Receiver

H. Implementasi Fuzzy (Mamdani) pada Sistem

Pada sistem logika fuzzy berfungsi sebagai pengambil keputusan akhir yaitu kondisi lanjut atau berhenti. Seperti yang telah dijelaskan pada penjelasan perancangan fuzzy. Hasil implementasi dari alat pencegah *kelelahan* ini dapat dilihat pada Gambar 14 dan 15 yaitu nilai input dari detak jantung dan laju napas mempengaruhi keputusan yang akan ditentukan. *input1* merupakan himpunan detak jantung, *input2* merupakan himpunan laju napas, dan *output1* merupakan himpunan dari kondisi lanjut dan berhenti.



Gambar 14. Sampling Pengambilan Keputusan Lanjut

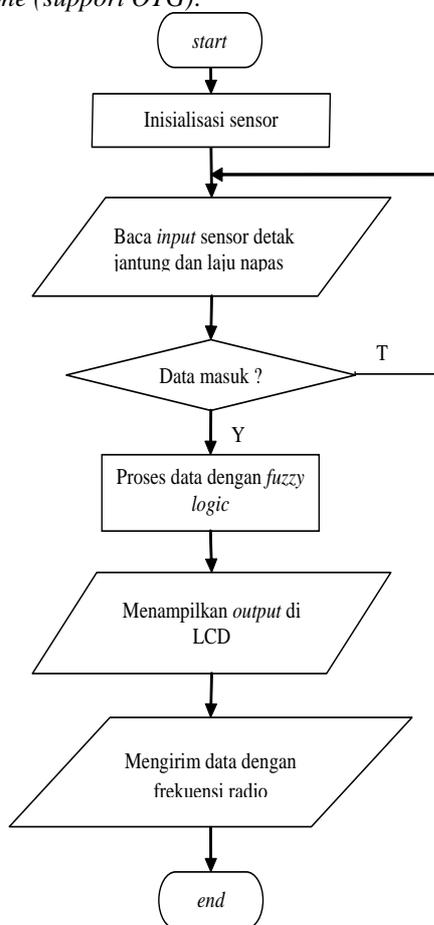


Gambar 15. *Sampling* Pengambilan Keputusan Berhenti

Pengambilan keputusan pada fuzzy Mamdani ini menggunakan metode COA (*Center of Area*) atau *min-max* yaitu saat implikasi mengambil nilai derajat keanggotaan terkecil (*min*) dan saat agregasi mengambil nilai terbesar (*max*). Sedangkan untuk menentukan hasil akhirnya dengan menghitung titik tengah area (*Center of Area*) untuk menentukan *output*. Konstanta COA merupakan acuan dasar dalam menentukan area setiap keputusan yang telah ditentukan.

I. Flowchart

Pada sistem kontrol logika fuzzy menggunakan detak jantung dan laju napas yang pertama kali dilakukan adalah pengambilan data pada setiap sensor (*input*), yaitu sensor detak jantung dan laju napas yang akan diproses oleh Arduino. Setelah mendapatkan data *input* pada setiap sensor yang digunakan maka Arduino akan memproses data dengan menggunakan metode logika fuzzy. *Output* didapatkan dari *rule base* yang telah ditentukan kemudian ditampilkan pada LCD dan dikirim melalui frekuensi radio untuk dapat dimonitor langsung melalui laptop maupun *handphone* (*support OTG*).



Gambar 16. *Flowchart*

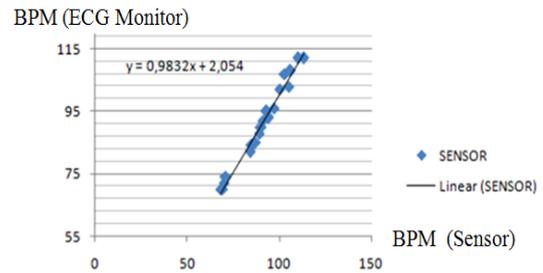
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini terdapat kalibrasi dan pengujian sensor, pengujian metode *fuzzy mamdani* dan pengujian system telemetri. Satuan dari sensor detak jantung menggunakan *pulse* sensor berupa BPM (*beat per minute*) dengan nilai detak jantung dari 1 hingga 200 dan satuan dari

sensor laju napas menggunakan MPX2010DP berupa BPM (*breath per minute*) dengan nilai napas dari 1 hingga 30.

A. Kalibrasi Sensor Detak Jantung

Sebelum melakukan pengujian sensor detak jantung maka data diambil untuk dikalibrasi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan nilai pengukuran sensor dengan nilai hasil pengukuran alat ukur standar. Hasil pengukuran setelah kalibrasi ditunjukkan pada gambar 17. Berikut hasil kalibrasi yang telah dilakukan.



Gambar 17. Kalibrasi Sensor Detak Jantung

B. Pengujian Sensor Detak Jantung

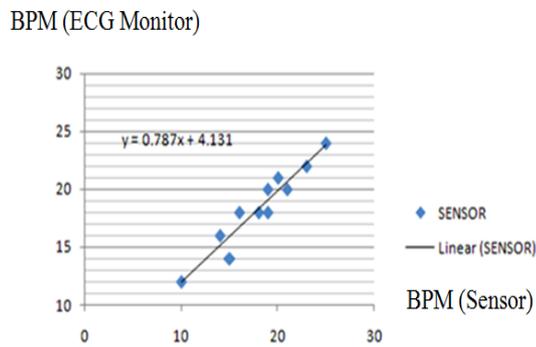
Sensor ini merupakan sensor analog, konversi nilai analog ke digital menggunakan pembacaan sinyal yang dihasilkan oleh sensor dengan tinggi maksimum 512 dalam nilai ADC untuk pembacaan satu detak jantung. Kemudian dikonversikan ke dalam satu menit setelah data diambil selama satu detik. Untuk pengujian sensor ini dilakukan bersamaan dengan pengujian alat ukur detak jantung yaitu ECG monitor untuk menguji tingkat kesalahan data yang diperoleh oleh sensor tersebut. Langkah-langkah pengambilan data yaitu pertama menyambungkan dengan sumber tegangan DC 9V pada Arduino. Kedua memasang sensor pada ujung jari kemudian memasang ECG monitor pada ujung jari lainnya dan adapula elektroda yang terpasang di dada. Setelah terpasang data dapat diamati untuk dianalisa hasil masing-masing pengukurannya. Data diamati melalui LCD dan ECG diamati melalui layar alat tersebut. Berikut data hasil pengujian sensor detak jantung pada Tabel 9.

Tabel 9 Pengujian Sensor Detak Jantung

No	ECG Monitor (BPM)	Detak Jantung Sensor (BPM)	Error (%)
1	85	86	1,17
2	92	90	2,17
3	100	98	2
4	108	110	1,85
5	103	101	1,94
6	88	90	2,27
7	95	92	3,15
8	105	108	2,85
9	107	110	2,80
10	114	110	3,5
11	84	89	5,95
12	86	90	4,65
13	90	92	2,22
14	91	92	1,09
15	94	93	1,06
16	Rata-rata E%		2,58

C. Kalibrasi Sensor Laju Napas

Sebelum melakukan pengujian sensor laju napas maka data diambil untuk dikalibrasi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan nilai pengukuran sensor dengan nilai hasil pengukuran alat ukur standar. Hasil pengukuran kalibrasi sensor laju napas ditunjukkan pada gambar 18. Berikut hasil kalibrasi yang telah dilakukan.



Gambar 18. Kalibrasi Sensor Laju Napas

D. Pengujian Sensor Laju Napas

Sensor ini merupakan sensor analog, konversi nilai analog ke digital menggunakan pembacaan sinyal yang dihasilkan oleh sensor dengan tinggi maksimum 326 dalam nilai ADC untuk pembacaan satu laju napas. Kemudian dikonversikan ke dalam satu menit setelah data diambil selama satu detik. Untuk pengujian sensor laju napas dilakukan bersamaan dengan pengukuran menggunakan ECG monitor yang dapat mengukur detak jantung juga tingkat respirasi dan kadar oksigen secara bersamaan. Langkah-langkah pengambilan data yaitu pertama menyambungkan dengan sumber tegangan DC 9V pada Arduino. Kedua memasang masker oksigen pada hidung kemudian mengatur tekanan masukan pada sensor. Lalu mengatur nilai *threshold* sebesar 324 yang tampil pada LCD. Setelah terpasang dan semua telah siap maka data dapat diamati untuk dianalisa hasil masing-masing pengukurannya. Data diamati melalui LCD dan ECG diamati melalui layar alat tersebut. Berikut data hasil pengujian sensor laju napas pada Tabel 11.

Tabel 11 Pengujian Sensor Laju Napas

No	ECG Monitor (BPM)	Sensor Laju Napas (BPM)	Error (%)
1	17	16	5,88
2	26	27	3,84
3	17	16	5,88
4	21	20	4,76
5	16	17	6,25
6	25	23	8
7	21	20	4,76
8	20	20	0
9	26	24	7,69
10	25	23	8
11	20	21	5
12	24	25	4,16
13	25	25	0
14	25	26	4
15	25	23	8
16	Rata-rata E%		5,08

E. Pengujian Jarak Radio

Pada pengujian ini menggunakan modul radio *telemetry* kit tipe 3DR V2 915 MHz yang telah mendukung Arduino. Radio ini dapat bekerja pada tegangan 5 Volt dan arus hingga 25 mA dan 100 mA untuk pemancar. Langkah-langkah pengujian jarak pengiriman data ini pertama semua antena harus terpasang (*transmitter* dan *receiver*). Kedua menyambungkan modul *receiver* pada perangkat yang akan menerima data (komputer atau ponsel pintar yang mendukung OTG). Setelah semua telah terpasang dengan benar lalu alat disambungkan dengan sumber tegangan DC 9V (kebutuhan Arduino). Data akan terkirim dan dapat di monitor melalui jarak jauh tanpa kabel (*telemetry*). Untuk monitor menggunakan laptop harus memiliki *software* IDE Arduino karena data ditampilkan pada *serial monitor* pada *software* tersebut dan untuk monitor menggunakan ponsel Android harus memiliki *software serial USB terminal* yang dapat di unduh dari *play store*. Tetapi untuk monitor dengan ponsel maka ponsel tersebut harus mendukung komunikasi dengan kabel OTG. Berikut hasil pengukuran pengiriman maksimum dari radio *telemetry*.

Pengujian jarak ini untuk mengetahui batas maksimum pengiriman data. Pengujian jarak ini dilakukan dua kali yaitu pertama pengukuran jarak maksimum dengan penghalang yaitu dibatasi oleh gedung atau tembok dan kedua pengukuran jarak maksimum dengan tanpa penghalang yaitu di luar ruangan. Kecepatan pengiriman data mengikuti sesuai dengan kecepatan pengiriman data pada pembacaan di Arduino yaitu *57600 baudrate*.

Tabel 12 Pengujian Jarak Radio tanpa Penghalang

No	Jarak (meter)	Status
1	10	Terkirim
2	20	Terkirim
3	30	Terkirim
4	40	Terkirim
5	50	Terkirim
6	60	Terkirim
7	70	Terkirim
8	80	Terkirim
9	90	Terkirim
10	100	Terkirim
11	140	Putus-putus
12	>140	Gagal

Tabel 13 Pengujian Jarak Radio dengan Penghalang

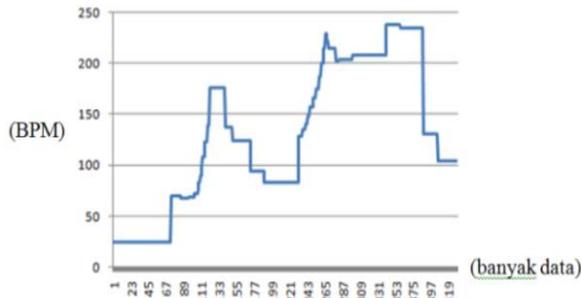
No	Jarak (meter)	Status
1	10	Terkirim
2	20	Terkirim
3	30	Terkirim
4	40	Terkirim
5	50	Terkirim
6	60	Terkirim
7	70	Terkirim
8	80	Terkirim
9	90	Terkirim
10	96	Putus-putus
11	>96	Gagal

Dari hasil pengukuran tersebut maka dapat disimpulkan bahwa radio *telemetry* 915 MHz yang digunakan memiliki batas maksimum jarak pengiriman data tanpa penghalang

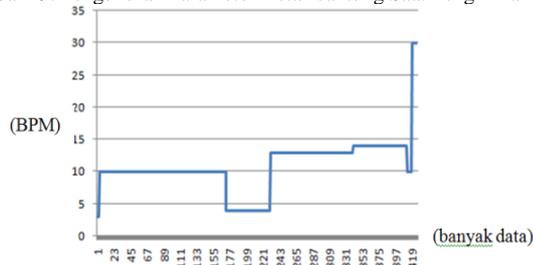
atau diluar ruangan sepanjang 140 meter dan dengan penghalang atau dibatasi oleh gedung atau tembok sepanjang 96 meter. Selisih jarak antara pengiriman tanpa penghalang dan dengan penghalang yaitu 44 meter.

F. Pengujian Parameter Saat Menggunakan Radio

Selama pengujian pengukuran jarak pengiriman data menggunakan radio didapatkan pula hasil pengukuran parameter dari detak jantung dan laju napas. Pengukuran parameter dilakukan dalam kondisi normal dan beraktifitas ringan. Berikut pada gambar 19 dan 20 hasil representasi pengukuran detak jantung dan laju napas.



Gambar 19. Pengukuran Parameter Detak Jantung Saat Pengiriman Radio



Gambar 20. Pengukuran Parameter Laju Napas Saat Pengiriman Radio

Dari data pengiriman tersebut terlihat bahwa hasil pengukuran parameter tidak stabil yaitu bisa naik dan turun secara drastis. Bahkan pengukuran yang dihasilkan dari parameter melebihi batas maksimal. Pada detak jantung batas maksimal jumlah detak per menit atau jumlah BPM tidak mungkin melebihi 200 BPM. Namun saat pengukuran parameter yang bersamaan dengan pengiriman radio terukur hingga 238 BPM. Pada laju napas batas maksimal jumlah napas per menit atau jumlah BPM tidak mungkin melebihi 20 BPM dalam keadaan normal. Namun saat pengukuran parameter yang bersamaan dengan pengiriman radio terukur hingga 30 BPM. Hasil pengukuran parameter detak jantung dan laju napas yang tidak stabil bisa dipengaruhi oleh faktor lain seperti tegangan *input* yang tidak stabil. Saat radio telemetry diaktifkan maka radio akan menyerap arus listrik lebih besar dari komponen lain untuk membangkitkan sinyal radio.

G. Pengujian Fuzzy

Setelah pengujian kedua sensor telah selesai dan didapatkan data yang diinginkan maka selanjutnya yaitu pengujian fuzzy. Dimana pada pengujian fuzzy ini dilakukan untuk mengetahui nilai data *output* yang apakah sudah sesuai atau belum. Data yang akan diperoleh yaitu nilai *output* dari kondisi tubuh apakah boleh lanjut atau berhenti melakukan olahraga.

Prosedur pengujiannya yaitu pertama menyambungkan alat yang telah dibuat ke sumber tegangan DC sebesar 9 V,

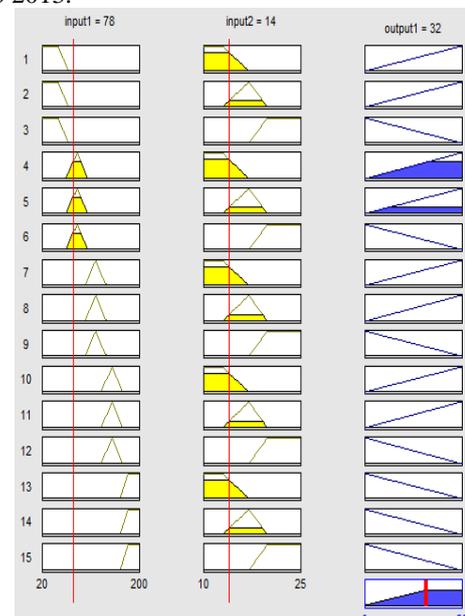
kemudian memasang sensor detak jantung pada jari dan sensor laju napas pada hidung. Setelah semua telah siap maka data bisa diamati dan dianalisa hasilnya pada LCD atau perangkat penerima radio. Berikut pada tabel 14 data hasil pengujian alat yang telah dilakukan.

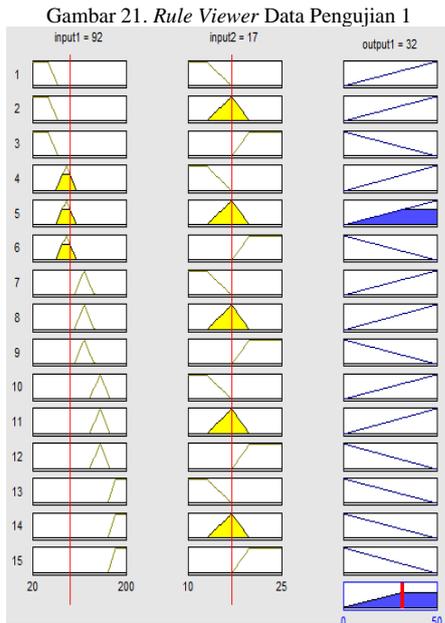
Tabel 14 Data Pengujian Fuzzy

No	Laju Napas	Detak Jantung	Output Fuzzy	Rule Base	Hasil
1	14	78	Lanjut	Lanjut	S
2	17	92	Lanjut	Lanjut	S
3	17	101	Lanjut	Lanjut	S
4	20	115	Berhenti	Berhenti	S
5	23	125	Berhenti	Berhenti	S

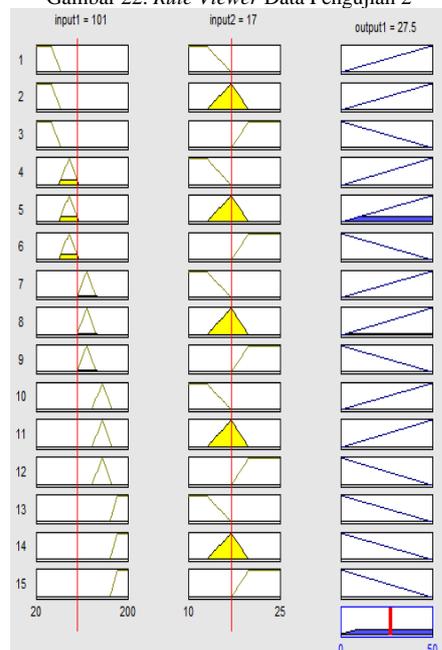
Pada pengujian fuzzy ini nilai *output* fuzzy dan *rule base* telah sesuai. Saat laju napas bernilai 14 yaitu kondisi lambat dan detak jantung bernilai 78 kondisi normal sehingga *rule base* berupa kondisi lanjut dan *output* fuzzy berupa kondisi lanjut sehingga hasilnya sesuai. Saat laju napas bernilai 17 yaitu kondisi normal dan detak jantung bernilai 92 kondisi normal sehingga *rule base* berupa kondisi lanjut dan *output* fuzzy berupa kondisi lanjut sehingga hasilnya sesuai. Saat laju napas bernilai 17 yaitu kondisi normal dan detak jantung bernilai 101 kondisi normal sehingga *rule base* berupa kondisi lanjut dan *output* fuzzy berupa kondisi lanjut sehingga hasilnya sesuai. Saat laju napas bernilai 20 yaitu kondisi normal dan detak jantung bernilai 115 kondisi aktivitas ringan sehingga *rule base* berupa kondisi lanjut dan *output* fuzzy berupa kondisi lanjut sehingga hasilnya sesuai. Saat laju napas bernilai 23 yaitu kondisi cepat dan detak jantung bernilai 125 kondisi aktivitas ringan sehingga *rule base* berupa kondisi berhenti dan *output* fuzzy berupa kondisi berhenti sehingga hasilnya sesuai.

Hasil keputusan dari fuzzy akan ditunjukkan melalui hasil *rule viewer* dari desain yang telah dibuat. Yaitu *input* pertama (*input1*) merupakan hasil visualisasi dari himpunan detak jantung, *input* ke dua (*input2*) merupakan hasil visualisasi dari himpunan laju napas, dan *output1* merupakan hasil visualisasi dari himpunan *output* fuzzy berupa nilai dari kondisi lanjut dan berhenti. Berikut ke lima hasil pembuktian fuzzy pada sistem menggunakan *software* Matlab 2013.

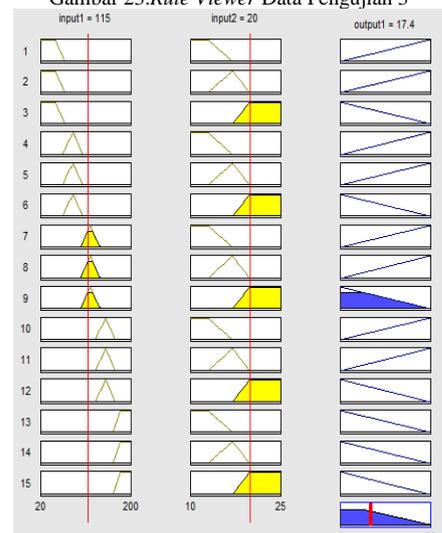




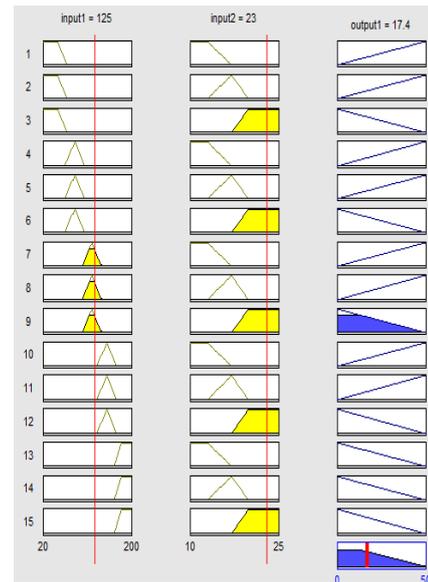
Gambar 21. Rule Viewer Data Pengujian 1



Gambar 22. Rule Viewer Data Pengujian 2



Gambar 23. Rule Viewer Data Pengujian 3



Gambar 25. Rule Viewer Data Pengujian 5

Seperti tampak pada gambar 21 sampai 25 dari ke lima hasil pengujian maka dapat dibuktikan bahwa alat yang dibuat telah sesuai dengan desain dari himpunan fuzzy (fuzzifikasi) dan sesuai dengan *rule* yang diinginkan. Selain pembuktian hasil perhitungan *output* fuzzy menggunakan Matlab, dapat pula dihitung secara manual.

H. Sistem Inferensi Fuzzy

Pengujian pertama :

a. Fuzzifikasi

1. Detak jantung = 78 BPM

$$\mu_{\text{Pelan}} = 0$$

$$\mu_{\text{Normal}} = \frac{78-65}{20} = \frac{13}{20} = 0,65$$

$$\mu_{\text{Ringan}} = 0$$

$$\mu_{\text{Berat}} = 0$$

$$\mu_{\text{Anaerob}} = 0$$

2. Laju napas = 14 BPM

$$\mu_{\text{Lambat}} = \frac{17-14}{4} = \frac{3}{4} = 0,75$$

$$\mu_{\text{Normal}} = \frac{14-13}{4} = \frac{1}{4} = 0,25$$

$$\mu_{\text{Cepat}} = 0$$

b. Operasi Logika Fuzzy

$$\mu_{\text{Normal}} \cap \text{Lambat} = \min(\mu_{\text{Normal}}(78));$$

$$\mu_{\text{Lambat}}(14) = \min(0,65; 0,75) = 0,65$$

$$\mu_{\text{Normal}} \cap \text{Normal} = \min(\mu_{\text{Normal}}(78));$$

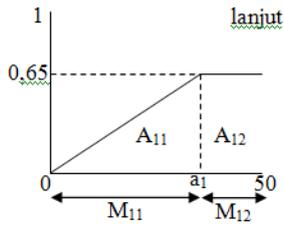
$$\mu_{\text{Normal}}(14) = \min(0,65; 0,25) = 0,25$$

Tabel 15 Inferensi Pengujian 1

Detak Jantung / Laju Napas	Pelan	Normal	Ringan	Berat	Anaerob
Lambat	0	0,65	0	0	0
Normal	0	0,25	0	0	0
Cepat	0	0	0	0	0

c. Defuzzifikasi (*Center of Area*)

$$\text{Output} = \frac{\text{momen}}{\text{luas area}} \quad (1)$$



$$0,65 = \frac{a_1 - 0}{50} \rightarrow a_1 = 32,5$$

Menghitung momen (M) :

$$M_{11} = \int_0^{32,5} \left(\frac{z-0}{50}\right) z dz = \int_0^{32,5} (0,02 z^2 - 0 z) dz$$

$$= 0,0067 z^3 - 0z^2 \Big|_0^{32,5}$$

$$= 229,9984375$$

$$M_{12} = \int_{32,5}^{50} (0,65) z dz = 0,325 z^2 \Big|_{32,5}^{50}$$

$$= 469,21875$$

$$M_1 = M_{11} + M_{12} = 229,9984375 + 469,21875$$

$$= 699,2171875$$

Menghitung luas area (A) :

$$A_{11} = \left(\frac{0,65 \times 32,5}{2}\right) = 10,5625$$

$$A_{12} = (50 - 32,5) \times 0,65 = 11,375$$

$$A_1 = A_{11} + A_{12} = 10,5625 + 11,375 = 21,9375$$

Menghitung titik pusat :

$$Output_1 = \frac{M_1}{A_1} = \frac{699,2171875}{21,9375} = 31,87$$

Jadi kondisi yang dihasilkan dari perhitungan sebesar 31,87 merupakan kondisi lanjut.

Pengujian ke dua :

a. Fuzzifikasi

1. Detak jantung (92 BPM)

$$\mu_{Pelan} = 0$$

$$\mu_{Normal} = \frac{105-92}{20} = \frac{13}{20} = 0,65$$

$$\mu_{Ringan} = 0$$

$$\mu_{Berat} = 0$$

$$\mu_{Anaerob} = 0$$

2. Laju napas (17 BPM)

$$\mu_{Lambat} = 0$$

$$\mu_{Normal} = 1$$

$$\mu_{Cepat} = 0$$

b. Operasi Logika Fuzzy

$$\mu_{Normal} \cap Normal = \min(\mu_{Normal}(92));$$

$$\mu_{Normal}(17) = \min(0,65; 1)$$

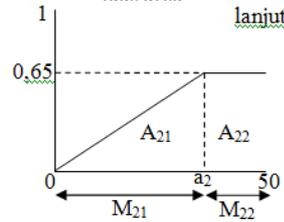
$$= 0,65$$

Tabel 16 Inferensi Pengujian 2

Detak Jantung Laju Napas	Pelan	Normal	Ringan	Berat	Anaerob
Lambat	0	0	0	0	0
Normal	0	0,65	0	0	0
Cepat	0	0	0	0	0

c. Defuzzifikasi (Center of Area)

$$Output = \frac{\text{momen}}{\text{luas area}}$$



$$0,65 = \frac{a_2 - 0}{50} \rightarrow a_2 = 32,5$$

Menghitung momen (M) :

$$M_{21} = \int_0^{32,5} \left(\frac{z-0}{50}\right) z dz = \int_0^{32,5} (0,02 z^2 - 0 z) dz$$

$$= 0,0067 z^3 - 0z^2 \Big|_0^{32,5}$$

$$= 229,9984375$$

$$M_{22} = \int_{32,5}^{50} (0,65) z dz = 0,325 z^2 \Big|_{32,5}^{50}$$

$$= 469,21875$$

$$M_2 = M_{21} + M_{22} = 229,9984375 + 469,21875$$

$$= 699,2171875$$

Menghitung luas area (A) :

$$A_{21} = \left(\frac{0,65 \times 32,5}{2}\right) = 10,5625$$

$$A_{22} = (50 - 32,5) \times 0,65 = 11,375$$

$$A_2 = A_{21} + A_{22} = 10,5625 + 11,375 = 21,9375$$

Menghitung titik pusat :

$$Output_2 = \frac{M_2}{A_2} = \frac{699,2171875}{21,9375} = 31,87$$

Jadi kondisi yang dihasilkan dari perhitungan sebesar 31,87 merupakan kondisi lanjut.

Pengujian ke tiga :

a. Fuzzifikasi

1. Detak jantung (101 BPM)

$$\mu_{Pelan} = 0$$

$$\mu_{Normal} = \frac{105-101}{20} = \frac{4}{20} = 0,2$$

$$\mu_{Ringan} = \frac{101-100}{20} = \frac{1}{20} = 0,005$$

$$\mu_{Berat} = 0$$

$$\mu_{Anaerob} = 0$$

2. Laju napas (17 BPM)

$$\mu_{Lambat} = 0$$

$$\mu_{Normal} = 1$$

$$\mu_{Cepat} = 0$$

b. Operasi Logika Fuzzy

$$\mu_{Normal} \cap Normal = \min(\mu_{Normal}(101));$$

$$\mu_{Normal}(17) = \min(0,2; 1)$$

$$= 0,2$$

$$\mu_{Ringan} \cap Normal = \min(\mu_{Ringan}(101));$$

$$\mu_{Normal}(17) = \min(0,005; 1)$$

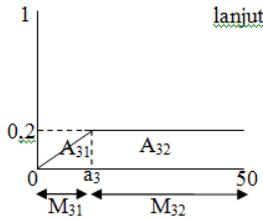
$$= 0,005$$

Tabel 17 Inferensi Pengujian 3

Detak Jantung Laju Napas	Pelan	Normal	Ringan	Berat	Anaerob
Lambat	0	0	0	0	0
Normal	0	0,2	0,005	0	0
Cepat	0	0	0	0	0

c. Defuzzifikasi (*Center of Area*)

$$Output = \frac{\text{momen}}{\text{luas area}}$$



$$0,2 = \frac{a_3 - 0}{50} \rightarrow a_3 = 10$$

Menghitung momen (M) :

$$M_{31} = \int_0^{10} \left(\frac{z-0}{50}\right) z dz = \int_0^{10} (0,02 z^2 - 0 z) dz = 0,0067 z^3 - 0z^2 \Big|_0^{10} = 6,7$$

$$M_{32} = \int_{10}^{50} (0,2) z dz = 0,1 z^2 \Big|_{10}^{50} = 240$$

$$M_3 = M_{31} + M_{32} = 6,7 + 240 = 246,7$$

Menghitung luas area (A) :

$$A_{31} = \left(\frac{0,2 \times 10}{2}\right) = 1$$

$$A_{32} = (50 - 10) \times 0,2 = 8$$

$$A_3 = A_{31} + A_{32} = 1 + 8 = 9$$

Menghitung titik pusat :

$$Output_3 = \frac{M_3}{A_3} = \frac{246,7}{9} = 27,41$$

Jadi kondisi yang dihasilkan dari perhitungan sebesar 27,41 merupakan kondisi lanjut.

Pengujian ke empat :

a. Fuzzifikasi

1. Detak jantung (115 BPM)

$$\mu_{Pelan} = 0$$

$$\mu_{Normal} = 0$$

$$\mu_{Ringan} = \frac{115-100}{20} = \frac{15}{20} = 0,75$$

$$\mu_{Berat} = 0$$

$$\mu_{Anaerob} = 0$$

2. Laju napas (20 BPM)

$$\mu_{Lambat} = 0$$

$$\mu_{Normal} = 0$$

$$\mu_{Cepat} = 1$$

b. Operasi Logika Fuzzy

$$\mu_{Ringan \cap Cepat} = \min(\mu_{Ringan}(115));$$

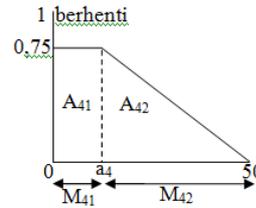
$$\mu_{Cepat}(20) = \min(0,75; 1) = 0,75$$

Tabel 18 Inferensi Pengujian 4

Detak Jantung Laju Napas	Pelan	Normal	Ringan	Berat	Anaerob
Lambat	0	0	0	0	0
Normal	0	0	0	0	0
Cepat	0	0	0,75	0	0

c. Defuzzifikasi (*Center of Area*)

$$Output = \frac{\text{momen}}{\text{luas area}}$$



$$0,75 = \frac{50 - a_4}{50} \rightarrow a_4 = 12,5$$

Menghitung momen (M) :

$$M_{41} = \int_0^{12,5} (0,75) z dz = 0,375 z^2 \Big|_0^{12,5} = 58,59375$$

$$M_{42} = \int_{12,5}^{50} \left(\frac{50-z}{50}\right) z dz = \int_{12,5}^{50} (z - 0,02 z^2) dz = 0,5 z^2 - 0,0067 z^3 \Big|_{12,5}^{50} = 347,4609375$$

$$M_4 = M_{41} + M_{42} = 58,59375 + 347,4609375 = 406,0546875$$

Menghitung luas area (A) :

$$A_{41} = (0,75 \times 12,5) = 9,375$$

$$A_{42} = \left(\frac{50-12,5}{2}\right) \times 0,75 = 14,0625$$

$$A_4 = A_{41} + A_{42} = 9,375 + 14,0625 = 23,4375$$

Menghitung titik pusat :

$$Output_4 = \frac{M_4}{A_4} = \frac{406,0546875}{23,4375} = 17,32$$

Jadi kondisi yang dihasilkan dari perhitungan sebesar 17,32 merupakan kondisi berhenti.

Pengujian ke lima :

a. Fuzzifikasi

1. Detak jantung (125 BPM)

$$\mu_{Pelan} = 0$$

$$\mu_{Normal} = 0$$

$$\mu_{Ringan} = \frac{140-125}{20} = \frac{15}{20} = 0,75$$

$$\mu_{Berat} = 0$$

$$\mu_{Anaerob} = 0$$

2. Laju napas (23 BPM)

$$\mu_{Lambat} = 0$$

$$\mu_{Normal} = 0$$

$$\mu_{Cepat} = 1$$

b. Operasi Logika Fuzzy

$$\mu_{Ringan \cap Cepat} = \min(\mu_{Ringan}(125);$$

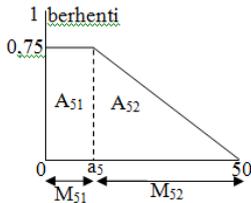
$$\mu_{Cepat}(23) = \min(0,75; 1) = 0,75$$

Tabel 19 Inferensi Pengujian 5

Detak Jantung Laju Napas	Pelan	Normal	Ringan	Berat	Anaerob
Lambat	0	0	0	0	0
Normal	0	0	0	0	0
Cepat	0	0	0,75	0	0

c. Defuzzifikasi (*Center of Area*)

$$\text{Output} = \frac{\text{momen}}{\text{luas area}}$$



$$0,75 = \frac{50-a_5}{50} \rightarrow a_5 = 12,5$$

Menghitung momen (M) :

$$M_{51} = \int_0^{12,5} (0,75) z dz = 0,375 z^2 \Big|_0^{12,5} = 58,59375$$

$$M_{52} = \int_{12,5}^{50} \left(\frac{50-z}{50}\right) z dz = \int_{12,5}^{50} (z - 0,02 z^2) dz = 0,5 z^2 - 0,0067 z^3 \Big|_{12,5}^{50} = 347,4609375$$

$$M_5 = M_{51} + M_{52} = 58,59375 + 347,4609375 = 406,0546875$$

Menghitung luas area (A) :

$$A_{51} = (0,75 \times 12,5) = 9,375$$

$$A_{52} = \left(\frac{50-12,5}{2}\right) \times 0,75 = 14,0625$$

$$A_5 = A_{51} + A_{52} = 9,375 + 14,0625 = 23,4375$$

Menghitung titik pusat :

$$\text{Output}_4 = \frac{M_5}{A_5} = \frac{406,0546875}{23,4375} = 17,32$$

Jadi kondisi yang dihasilkan dari perhitungan sebesar 17,32 merupakan kondisi berhenti.

Dari hasil perhitungan pada Tabel 4.8 terlihat bahwa hasil perhitungan manual dan hasil perhitungan Matlab tidak jauh berbeda. Dengan nilai *error* pada percobaan pertama sebesar 0,4 %. Pada percobaan ke dua sebesar 0,4 %. Pada percobaan ke tiga sebesar 0,32 %. Pada percobaan ke empat sebesar 0,46 %. Pada percobaan ke lima sebesar 0,46 %. Nilai selisih pada *error* masih sangat kecil sehingga data dikatakan sesuai. Hasil perhitungan juga sesuai dengan *rule* yang telah dibuat.

Tabel 20 Hasil Perhitungan *Output*

Data ke	Perhitungan Manual	Perhitungan Matlab	<i>Error</i> (%)
1	31,87	32	0,4
2	31,87	32	0,4
3	27,41	27,5	0,32
4	17,32	17,4	0,46
5	17,32	17,4	0,46

Setelah proses pengujian alat telah selesai maka data yang telah terukur akan tersimpan pada memori *SD card* secara langsung setelah proses pengukuran selesai. Data yang tersimpan pada *SD card* dengan judul 'data.txt' yang berupa file *notepad*. Format penyimpanannya yaitu pertama memasukan hasil pengukuran laju napas lalu di beri spasi satu tab lalu selanjutnya hasil pengukuran detak jantung, dan lalu di beri spasi satu tab lalu selanjutnya hasil perhitungan *output* fuzzy. Kemudian jika ada pengujian berkali-kali maka data akan terus menerus menyimpan seperti format tersebut berurutan. Jika memori *SD card*

error atau tidak dapat menyimpan maka pada layar LCD akan muncul peringatan berupa "SD card error".

V. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan bahwa pengujian sensor nilai *error* terbesar yaitu 5,95 % pada detak jantung dan 8 % pada laju napas. Sedangkan nilai *error* terkecil yaitu 1,06 % pada detak jantung dan 0 % pada laju napas. Jarak maksimum pengiriman data menggunakan radio tanpa penghalang sejauh 140 meter dan dengan penghalang sejauh 96 meter. Hasil pengujian fuzzy telah sesuai dengan *rule base* yang telah dibuat dan telah dibuktikan dengan perhitungan manual dan matlab.

REFERENSI

- [1] Palar, Chrisly M dkk. 2015. *Manfaat Latihan Olahraga Aerobik Terhadap Kebugaran Fisik Manusia*. Jurnal e-Biomedik (eBm), Volume 3, Nomor 1, Januari-April 2015
- [2] Giriwijoyo, Prof. H.Y.S Santosa dan Dr. Didik Z.S, M.Pd. 2012. *Ilmu Kesehatan Olahraga*. Bandung: PT. Remaja Rosdakarya.
- [3] Ganong, William F. 2008. *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran*. Jakarta: Buku Kedokteran EGC.
- [4] Meivita, Dewi Nurhaji. 2016. *Rancang Bangun Alat Ukur Kondisi Kesehatan Pada Pendaki Gunung Berbasis Fuzzy Logic*. Yogyakarta, Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI), ISSN:1907-5022
- [5] Patil, Harshavardhan B dan Prof.V.M.Umale. 2015. *Arduino Based Wireless Biomedical Parameter Monitoring System Using Zigbee*. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) ISSN: 2231-5381 Volume 28 Number 7.
- [6] Kale, Aniket V. dkk. 2015. *GSM Based Heart Rate and Temperature Monitoring System*. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) ISSN: 2278-0181 Vol. 4 Issue 04.
- [7] Kuswandi, Son. 2007. *Kendali Cerdas*. Yogyakarta: CV. Andi Offset
- [8] Mallick, Bandana dan Ajit Kumar Patro. 2016. *Heart Rate Monitoring System Using Finger Tip Through Arduino And Processing Software*. International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR), ISSN: 2278 – 7798 Volume 5, Issue 1, January 2016
- [9] Hadiyoso, Sugondo dkk. 2015. *Implementasi Regulator Oksigen Otomatis berdasarkan Tingkat Pernapasan Menggunakan Logika Fuzzy*. Teknik Elektro Itenas Jurnal ELKOMIKA ISSN: 2338-8323 No. 1 Vol. 3 Januari - Juni 2015