ALAT PENDETEKSI DINI OBESITAS MENGGUNAKAN PENGUKURAN INDEKS MASSA TUBUH DAN LEMAK TUBUH DENGAN LOGIKA FUZZY MAMDANI BERBASIS MIKROKONTROLER

Rahmadani Aldiansyah Gymnastiar[*1], Septriandi Wirayoga[2]

[1,2] Prodi Teknik Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Indonesia
Email: [1]rahmadanialdiansyah@gmail.com, [2]yoga.septriandi@polinema.ac.id

Nomor Handphone : 08980634242

Abstrak

Obesitas di Indonesia ataupun secara universal di seluruh dunia mempengaruhi sekitar 650 juta orang dewasa. Obesitas dapat diketahui menggunakan metode yang paling terkenal adalah dengan indeks massa tubuh. Namun, laporan AMA (*American Medical Association*) tahun 2023 menyatakan indeks massa tubuh kurang prediktabilitas dalam mengukur massa lemak. Sehingga, penelitian ini mengembangkan sistem deteksi dini obesitas untuk dewasa menggunakan logika *Fuzzy* Mamdani dengan mengintegrasikan sensor VL53L0X, load cell, dan metode *Bioelectrical Impedance Analysis*. Alat ini mampu mengukur tinggi, berat, indeks massa tubuh serta persentase lemak tubuh yang diproses menggunakan Arduino Mega. Data yang diperoleh akan dianalisis oleh sistem inferensi *Fuzzy* Mamdani untuk mengklasifikasikan kondisi gizi orang dewasa. Pengujian hasil sistem menunjukkan masing-masing sensor setelah dilakukan kalibrasi menghasilkan beberapa nilai akurasi, yaitu sensor load cell dengan akurasi 99,30%, sensor VL53L0X dengan akurasi 99,50%, dan sensor untuk lemak tubuh dengan akurasi 97,51%. Hasil sistem memberikan solusi deteksi dini obesitas yang bersifat *non-invasif* dan praktis dari pengukuran berat badan, tinggi badan, dan lemak tubuh yang menghasilkan klasifikasi indeks massa tubuh dan kondisi lemak pada tubuh. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dalam pengembangan teknologi dalam deteksi dini obesitas.

Kata kunci: Berat Badan, Fuzzy, Lemak Tubuh, Sensor, Tinggi Badan

Abstract

Obesity in Indonesia and worldwide affects approximately 650 million adults. Obesity can be identified using the most well-known method, the body mass index (BMI). However, a 2023 report by the AMA (American Medical Association) states that BMI lacks predictive power in measuring body fat. Therefore, this study developed an early-detection system for obesity in adults using Mamdani Fuzzy Logic by integrating a VL53L0X sensor, a load cell, and the Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) method. This device is capable of measuring height, weight, body mass index, and body fat percentage, all processed using an Arduino Mega. The data obtained is analyzed by the Mamdani Fuzzy inference system to classify the nutritional status of adults. Testing of the system results showed that after calibration, each sensor produced the following accuracy values: the load cell sensor with 99.30% accuracy, the VL53L0X sensor with 99.50% accuracy, and the body fat sensor with 97.51% accuracy. The system's results provide a non-invasive and practical solution for the early detection of obesity based on measurements of body weight, height, and body fat, which yield classifications of body mass index and body fat status. The results of this study are expected to contribute to the development of technology for the early detection of obesity.

Keywords: *Body Fat, Body Weight, Fuzzy, Height, Sensor*

This work is an open access article and licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

1. PENDAHULUAN

Obesitas di Indonesia ataupun secara universal di dunia mengalami sebuah peningkatan. Obesitas sudah mempengaruhi sekitar 650 juta orang dewasa di seluruh dunia [1]. Indeks massa tubuh merupakan metode yang paling terkenal digunakan untuk menentukan kondisi obesitas untuk orang dewasa laki-laki dan perempuan. Indeks massa tubuh juga digunakan untuk standar menentukan sebuah kondisi sehat, kelebihan berat badan, dan obesitas dari orang dewasa laki-laki dan perempuan [2]. Namun, dari

laporan AMA (*American Medical Association*) tahun 2023 menyatakan indeks massa tubuh kurang prediktabilitas dalam mengukur massa lemak dari individu karena bentuk tubuh diantara kelompok usia, jenis kelamin, dan ras yang berbeda-beda [3].

Karena hal tersebut menjadikan indeks massa tubuh tidak bisa digunakan sebagai satu-satunya metode dalam kriteria pengambilan keputusan untuk menentukan kondisi obesitas. Sehingga, indeks massa tubuh kurang dalam menentukan lemak tubuh. Oleh karena itu, untuk mengetahui lemak tubuh dapat diukur dengan indikator persentase lemak tubuh atau bisa disebut *Body Fat Percentage* (BFP), BFP memiliki keahlian lebih besar dibandingkan indeks massa tubuh dalam hal membedakan massa tanpa lemak dan massa lemak [4]. Pengukuran *Body Fat Percentage* memiliki berbagai jenis teknik dalam pengukurannya, salah satu pengukurannya bernama *Bioelectrical Impedance Analysis* [5].

Bioelectrical Impedance Analysis merupakan sebuah metode pengukuran kadar lemak tubuh berdasarkan penilaian komposisi tubuh dengan membedakan massa lemak dan massa non-lemak [6]. *Bioelectrical Impedance Analysis* bekerja dengan cara menguji ketahanan jaringan tubuh terhadap aliran arus bolak-balik (AC) listrik yang rendah dibawah 1 mA. Arus listrik yang lemah dialirkan ke tubuh manusia untuk mengukur resistansi yang dihasilkan oleh jaringan tubuh, pengukuran resistansi inilah yang akan digunakan untuk menghitung persentase lemak tubuh [7].

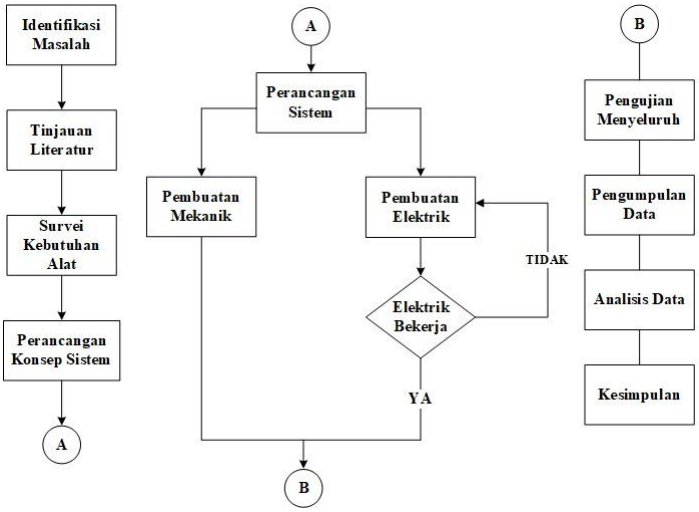
Pada penelitian terdahulu [8], alat yang dirancang memiliki keterbatasan dimana belum diklasifikasikan serta ditentukan kondisi dari tubuh orang dewasa. Hasil persentase lemak tubuh dan indeks massa tubuh akan ditambahkan salah satu logika untuk memudahkan pengguna dalam menentukan klasifikasi kondisi tubuh. Logika yang digunakan adalah logika *fuzzy* (*fuzzy logic*) yang diperkenalkan oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1975. Istilah *fuzzy* bisa dikaitkan suatu ketidakpastian dalam proses atau data. Pada penelitian ini untuk pengambilan keputusan menggunakan logika *fuzzy* Mamdani [9].

Pemilihan metode *Fuzzy* Mamdani didasarkan untuk mengambil keputusan maupun kesimpulan terbaik dalam suatu masalah yang tidak pasti. Metode *Fuzzy* Mamdani juga memiliki keunggulan karena lebih mudah dipahami dan menggunakan keluaran yang berbentuk linguistik [10]. Dalam penelitian ini, sistem yang dikembangkan akan menggabungkan Metode *fuzzy* Mamdani dan beberapa sensor serta rangkaian analog untuk menentukan kondisi tubuh orang dewasa. Sensor yang digunakan adalah sensor VL53L0X yang digunakan untuk mengukur tinggi badan, sensor load cell digunakan untuk mengukur berat badan, serta gabungan rangkaian analog untuk mengukur persentase lemak tubuh. Hasil dari pengukuran akan diklasifikasikan dan ditentukan kondisi tubuh orang dewasa menggunakan logika *fuzzy* Mamdani.

Meskipun penelitian tentang sistem deteksi obesitas berbasis mikrokontroler mulai diaplikasikan dalam beberapa penelitian. Alat untuk menentukan obesitas pada tubuh orang dewasa yang secara lengkap cukup terbatas di beberapa tempat, dihitung dari sisi jumlah maupun kelengkapan fiturnya. Berbagai tantangan teknis, seperti akurasi sensor dalam penghitungan, dan kalibrasi sensor untuk meminimalkan kesalahan pengukuran belum sepenuhnya diatasi. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini hadir untuk melengkapi, dan menambahkan sistem deteksi dini obesitas pada orang dewasa. Sistem ini akan ditampilkan hasil dari berat badan, tinggi badan, persentase lemak tubuh, dan kondisi tubuh dari orang dewasa.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini melakukan perancangan sistem dan mengevaluasi sistem deteksi kesehatan yang berfokus pada deteksi dini obesitas pada orang dewasa. Pendekatan yang digunakan mencakup penggunaan metode deskriptif untuk memperoleh pemahaman mengenai kondisi kesehatan orang dewasa yang mengalami obesitas, serta penggunaan metode eksperimental untuk menilai akurasi sistem dalam mengklasifikasikan tingkat obesitas. Sistem ini dirancang agar mampu mengukur tinggi badan, berat badan untuk mengetahui indeks massa tubuh serta lemak tubuh untuk menentukan kondisi gizi pada orang dewasa serta sebagai deteksi dini obesitas. Pada gambar 1 dijelaskan sebagai alur penelitian yang menggambarkan keseluruhan tahapan mulai awal sampai ahkir.



Gambar 1. Alur Penelitian

Penelitian ini diawali dengan identifikasi masalah serta studi literatur yang mendasari perancangan sistem untuk deteksi kondisi tubuh berbasis mikrokontroler. Selanjutnya membuat rencana pemilihan komponen hingga pembuatan mekanik dan elektrik dari alat pengukur berat badan, tinggi badan, dan lemak tubuh secara terintegrasi. Alat yang telah dirakit akan dilakukan pengujian secara menyeluruh dengan mengevaluasi integrasi dari sensor, mikrokontroler, serta rangkaian perangkat keras agar sistem bekerja sesuai rancangan. Selanjutnya melakukan perbandingan keluaran sistem dengan alat pembanding yang sesuai. Terahkir, melakukan pengumpulan data dengan menerapkan sistem pada orang dewasa sebagai subjek penelitian dan mengolah data dari hasil penerapan pada orang dewasa serta menyusun kesimpulan dari penelitian.

2.1 DIAGRAM BLOK SISTEM

Diagram blok sistem yang digunakan dalam sistem ditampilkan pada gambar 2. Sistem ini menggunakan Keypad I2C sebagai perangkat masukan (*input*) tombol untuk identifikasi usia, dan jenis kelamin [11]. Sensor VL53L0X merupakan sensor jarak dengan laser *Time-of-Flight* (ToF) untuk mengukur tinggi badan [12][13]. Sensor load cell berfungsi untuk mengubah sebuah gaya khususnya tekanan menjadi sinyal listrik yang digunakan dalam perangkat elektromekanis (*transduser*) dengan modul HX711 sebagai pengonversi analog ke digital (ADC) 24-bit yang digunakan untuk mengukur berat badan [14] [15]. TCA9548A merupakan multiplexer yang berfungsi sebagai jembatan komunikasi untuk membagi jalur pembacaan sensor via protokol I2C yang digunakan untuk mengatur alamat dari keypad I2C, sensor VL53L0X, dan LCD 20x4 [16]. Arduino mega 2560 merupakan mikrokontroler berbasis ATmega2560 yang digunakan sebagai proses pengolahan data dari sensor dan digunakan untuk pemrosesan data dari sensor [17]. keluaran hasil dari sistem akan ditampilkan pada LCD 20x4 untuk menampilkan informasi dari hasil pengukuran dalam bentuk karakter, huruf, angka [18].

Gambar 2 terdapat metode untuk *Bioelectrical Impedance Analysis* yang digunakan untuk mengukur impedansi dari tubuh manusia dengan melalui arus AC dengan frekuensi tertentu menuju tubuh manusia melalui media elektroda [7]. Elektroda akan diletakkan pada bagian bawah sebagai media yang bersentuhan melalui kaki ke kaki (*foot-to-foot*) [19]. Cara menentukan persentase lemak tubuh adalah dengan cara mengetahui impedansi tubuh terlebih dahulu dengan rumus pada persamaan berikut ini [19]:

Metoda yang dipakai dalam penelitian ini yang pertama adalah menentukan nilai impedansi dengan persamaan 1 sebagai berikut:

$$Z = \frac{V}{I} \qquad (1)$$

Keterangan:
Z = Impedansi (Ω)

V = Tegangan (V)
I = Arus (A)

Setelah mengetahui nilai impedansi, nilai tersebut akan dimasukkan kedalam rumus untuk menentukan *fat free mass* (FFM) pada persamaan 2 berikut ini [8]:

$$FFM = 0{,}360\left(\frac{T^2}{Z}\right) + 0{,}612(T) + 0{,}289(B) - 0{,}314(U) + 4{,}83(G) - 6{,}83 \qquad (2)$$

Keterangan:
FFM = Fat free mass / massa non-lemak (Kg)
Z = Impedansi (Ω)
B = Berat Badan (Kg)
T = Tinggi badan (Cm)
U = Usia (Tahun)
G = Jenis kelamin (1 = pada pria; 0 = pada wanita)

Apabila nilai dari *fat free mass* (FFM) atau massa tanpa lemak telah ditemukan. Selanjutnya, menghitung nilai *free mass* (FM) atau massa lemak seperti ditunjukkan pada persamaan pada rumus berikut ini [7] [20]:

$$FM = Berat - FFM \qquad (3)$$

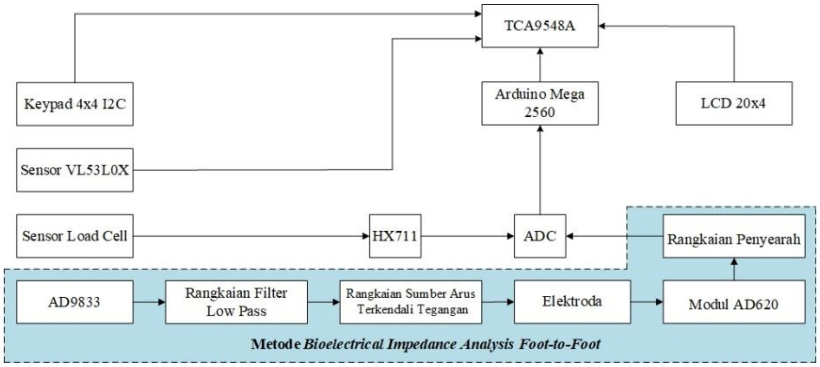
Keterangan:
FM = *Free mass* / massa lemak (Kg)
Berat = Berat Badan (Kg)
FFM = *Fat free mass* / massa non-lemak (Kg)

Apabila nilai dari *free mass* (FM) atau massa lemak telah ditemukan. Selanjutnya, menghitung *Body fat Percentage* (BFP) atau persentase lemak tubuh pada persamaan pada rumus berikut ini [20]:

$$\text{BFP} = \frac{FM}{Berat} x\ 100\% \qquad (4)$$

Keterangan:
BFP = *Body fat percentage* atau persentase lemak tubuh (%)
FM = *Free mass* / massa lemak (Kg)
Berat = Berat Badan (Kg)

Metode *Bioelectrical Impedance Analysis* menggunakan AD9833 sebagai generator gelombang terprogram berdaya rendah yang beroperasi menggunakan teknologi *Direct Digital Synthesis* (DDS) untuk menghasilkan sinyal analog berkinerja tinggi [21]. rangkaian filter *low pass* digunakan untuk meneruskan frekuensi tertentu yang diinginkan [22]. rangkaian sumber arus terkendali tegangan atau rangkaian howland yang digunakan untuk menghasilkan arus keluaran yang stabil [23]. Modul AD620 digunakan untuk memperkuat sinyal bertegangan rendah dari elektroda [24]. Rangkaian penyearah untuk mengubah tegangan atau arus bolak-balik (AC) menjadi tegangan atau arus searah (DC) [25]. Diagram blok keseluruan dapat dilihat pada gambar 2.

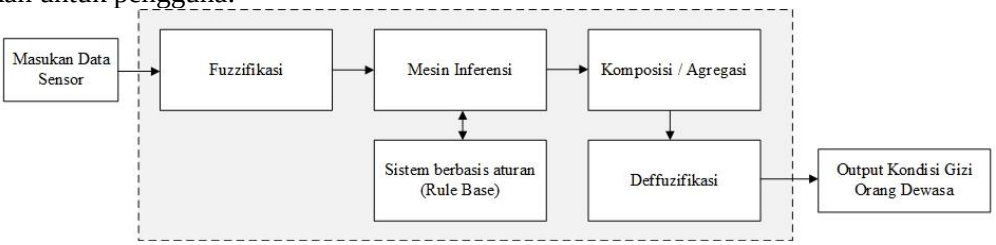


Gambar 2. Diagram Blok Keseluruan

2.2 DIAGRAM BLOK SISTEM FUZZY MAMDANI

Gambar 3 merupakan proses pengumpulan data fisiologis oleh sensor berupa tinggi badan, berat badan, dan lemak tubuh yang terintegrasi dengan mikrokontroler Arduino Mega. Data mentah tersebut kemudian masuk ke tahap fuzzifikasi, tahap ini adalah tahap ketika informasi numerik diubah menjadi representasi linguistik seperti 'normal', 'kelebihan berat badan', atau 'obesitas' melalui pembentukan fungsi keanggotaan [26]. Langkah ini sangat krusial untuk menangani ketidakpastian data sensor agar sistem dapat bekerja secara lebih fleksibel dan adaptif dalam menentukan derajat keanggotaan setiap variabel masukan.

Selanjutnya, sistem memasuki tahap inferensi dengan menerapkan aturan logika *if-then* (jika-maka) sebagai basis pengambilan keputusan terhadap berbagai kombinasi kondisi input. Seluruh aturan yang relevan dievaluasi dan dikombinasikan melalui proses agregasi untuk membentuk keluaran dalam himpunan fuzzy. Tahap akhir adalah defuzzifikasi yang digunakan untuk mengubah hasil fuzzy menjadi nilai tegas (*crisp value*) untuk menentukan apakah orang dewasa terdeteksi mengalami kondisi obesitas atau tidak [26]. Hasil deteksi ini kemudian ditampilkan secara informatif melalui layar LCD 20x4 yang ditampilkan untuk pengguna.



Gambar 3. Diagram Blok Sistem Fuzzy

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menjelaskan hasil penelitian serta pembahasan melalui penyampaian dalam bentuk tabel, gambar, dan analisa untuk memudahkan pembaca memahami isi dari perancangan, alur pembahasan, pengujian, dan evaluasi performa sistem untuk memberikan gambaran hasil yang sistematis.

3.1. HASIL PERANCANGAN SISTEM

Pada gambar 4 bagian (a) merupakan bentuk mekanik alat untuk mengukur kondisi gizi dari tubuh orang dewasa yang terpasang sensor load cell, sensor VL53L0X, dan rangkaian untuk metode *Bioelectrical Impedance Analysis* serta boks kontrol elektrik untuk kontrol dalam sistem. Pada gambar 4 bagian (b) merupakan tempat untuk melakukan media pengukuran yang menggunakan elektroda berbahan tembaga. Pada gambar 4 bagian (c) merupakan tempat untuk melakukan pengisian secara singkat data diri pengguna yang terpasang keypad I2C, LCD 20x4, TCA9548A, dan Arduino Mega. Kemudian, pengguna mengisi usia, dan jenis kelamin dan selanjutnya pengguna berdiri di atas alat pengukuran dan sistem melakukan pengukuran secara otomatis untuk berat badan, tinggi badan, dan lemak tubuh. Setelah pengukuran dilakukan, sistem akan memproses nilai yang dihasilkan dan akan

diolah menggunakan Fuzzy Mamdani untuk menentukan kondisi gizi dari tubuh seseorang. Pada gambar 4(a) merupakan hasil mekanik pengukuran, 4(b) merupakan hasil media pengukuran, 4(c) merupakan hasil dari boks elektrik.



(a) (b) (c)

Gambar 4. Hasil rancangan (a) Mekanik, (b) Media Pengukuran, (c) Elektrik

3.2. HASIL PENGUJIAN SENSOR LOAD CELL

Pengujian sensor load cell dengan modul HX711 dilakukan melalui perbandingan antara data hasil keluaran sensor terhadap alat ukur timbangan digital sebagai referensi. Pengujian ini dilaksanakan sebanyak 10 kali pengambilan sampel untuk mendapatkan variasi data yang variatif. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan tingkat akurasi dari sensor load cell. Proses pengujian sensor load cell dengan modul HX711 ditunjukkan pada tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor Load Cell

No.	Hasil Pengujian		Error (%)
	Sensor Load Cell (Kg)	Timbangan Digital (Kg)	
1	61,4	61,8	0,65
2	75,9	76,3	0,53
3	70,2	70,6	0,57
4	56	56,4	0,71
5	72,2	72,8	0,83
6	58	58,5	0,86
7	63,2	63,7	0,79
8	53,8	54,1	0,56
9	71,9	72,5	0,83
10	92,5	93,1	0,65
Total Nilai Rata-Rata Error			0,70

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, sensor load cell memiliki nilai error sebesar 0,70% dengan akurasi sebesar 99,30%. Hal ini membuktikan bahwa proses pengujian terhadap sensor load cell berhasil dilakukan dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi.

3.3 HASIL PENGUJIAN SENSOR VL53L0X

Pengujian sensor VL53L0X dilakukan melalui perbandingan antara data hasil keluaran sensor terhadap alat ukur meteran sebagai referensi. Pengujian ini dilaksanakan sebanyak 10 kali pengambilan sampel untuk mendapatkan variasi data yang variatif. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan tingkat akurasi sensor VL53L0X. Proses pengujian sensor VL53L0X ditunjukkan pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor VL53L0X

No.	Hasil Pengujian		Error (%)
	Sensor VL53L0X (Cm)	Meteran (Cm)	
1	174,2	175	0,46
2	158,8	159,5	0,44
3	162,2	163	0,49
4	172,6	173,5	0,52
5	168,1	169	0,53
6	151,9	153	0,72
7	159,5	160,5	0,62
8	154,3	154,9	0,39
9	162,3	163	0,43
10	176,1	176,8	0,40
Total Nilai Rata-Rata Error			0,50

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, sensor VL53L0X memiliki nilai error sebesar 0,50% dengan akurasi sebesar 99,50%. Hal ini membuktikan bahwa proses pengujian terhadap sensor VL53L0X berhasil dilakukan dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi.

3.4 HASIL PENGUJIAN INDEKS MASSA TUBUH

Pengujian hasil indeks massa tubuh didapatkan dari hasil Pengujian sensor load cell dan sensor VL53L0X akan diolah untuk menentukan indeks massa tubuh dengan rumus persaman sebagai berikut:

$$Indeks\ Massa\ Tubuh = \frac{Berat_{(kg)}}{Tinggi^2{}_{(m)}} \quad (5)$$

Nilai indeks massa tubuh akan diolah oleh Fuzzy Mamdani dengan acuan standar WHO untuk menentukan kondisi gizi berdasarkan hasil perhitungan rumus persamaan 5. Hasil dari indeks massa tubuh terdapat pada tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Hasil Pengujian Indeks Massa Tubuh

No.	Hasil Pengujian		Hasil IMT (Kg/m^2)
	Sensor Load Cell (Kg)	Sensor VL53L0X (Cm)	
1	62,5	174,2	20,60 (Normal)
2	69,8	159,8	27,33 (Pra-Obesitas)
3	61,9	164,1	22,99 (Normal)
4	59,7	173,4	19,86 (Normal)
5	73,6	170,1	25,44 (Pra-Obesitas)
6	54,7	152,5	23,52 (Normal)
7	99,3	155,7	40,96 (Obesitas 3)
8	68	158,1	27,20 (Pra-Obesitas)
9	80,6	160,8	31,17 (Obesitas 1)
10	103,4	168,3	36,50 (Obesitas 2)
Nilai Rata-Rata IMT			27,55

Hasil dari pengujian indeks massa tubuh ditampilkan pada tabel 3. Pada tabel tersebut ditunjukkan hasil untuk rata-rata nilai hasil indeks massa tubuh adalah 27,55 kg/m^2 dari 10 subjek orang dewasa.

3.5 HASIL PENGUJIAN SENSOR LEMAK TUBUH

Pengujian sensor lemak tubuh dilakukan melalui perbandingan antara data hasil keluaran sensor terhadap alat ukur skinfold caliper sebagai referensi. Pengujian ini dilaksanakan sebanyak 10 kali

pengambilan sampel untuk mendapatkan variasi data yang variatif. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan tingkat akurasi sensor lemak tubuh. Hasil nilai dari sensor lemak tubuh menggunakan rumus pada persamaan 1, 2, 3, dan 4. Hasil proses pengujian sensor lemak tubuh ditunjukkan pada tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sensor Lemak Tubuh

No.	Jenis Kelamin	Umur	Hasil Pengujian		Error (%)
			Lemak Tubuh (%)	Skinfold Caliper (%)	
1	L	23	13,1	13,6	3,82
2	L	25	14,9	15,4	3,36
3	L	32	24,9	24,5	1,61
4	L	21	21,8	22,3	2,29
5	L	31	26,1	27	3,45
6	P	45	27,6	27,9	1,09
7	P	29	30,9	31,5	1,94
8	P	25	24,5	23,8	2,86
9	P	31	21	21,5	2,38
10	P	38	33,4	32,7	2,10
Total Nilai Rata-Rata Error					2,49

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, sensor lemak tubuh memiliki nilai error sebesar 2,49% dengan akurasi sebesar 97,51%. Hal ini membuktikan bahwa proses pengujian terhadap sensor lemak tubuh berhasil dilakukan dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi dengan nilai error kurang dari <10%.

3.6 HASIL PENGUJIAN KESELURUHAN

Proses pengujian sistem dilakukan dengan melakukan eksperimen secara langsung. Eksperimen dilakukan dengan subjek orang dewasa sebanyak 25 orang dewasa. Pengujian dilakukan untuk mengukur akurasi keseluruhan sistem dalam menganalisis data fisiologis serta kemampuannya dalam menghasilkan output yang menggambarkan kondisi gizi seseorang secara tepat. Hasil dari pengujian sistem ditampilkan pada tabel 5 berikut.

Tabel 5. Hasil Pengujian Keseluruhan

No.	Jenis Kelamin	Umur	Hasil Pengujian	
			Hasil Sistem IMT	Hasil Sistem Lemak Tubuh (%)
1	L	42	pra-obesitas	obesitas
2	L	25	normal	normal
3	P	28	obesitas 1	obesitas
4	P	34	normal	obesitas
5	P	34	normal	normal
6	P	43	pra-obesitas	obesitas
7	P	28	pra-obesitas	obesitas
8	P	34	obesitas 2	obesitas
9	P	34	normal	normal
10	P	32	normal	normal
11	P	28	obesitas 2	obesitas
12	P	45	obesitas 1	obesitas
13	L	27	pra- obesitas	normal
14	P	25	normal	normal
15	P	29	normal	normal

16	P	25	normal	bugar
17	P	29	obesitas 3	obesitas
18	L	22	normal	bugar
19	L	22	normal	bugar
20	L	22	normal	bugar
21	L	22	obesitas 1	obesitas
22	L	21	pra-obesitas	normal
23	L	21	pra-obesitas	normal
24	P	24	normal	normal
25	P	27	normal	bugar

Evaluasi kinerja sistem dilakukan melalui pengujian menyeluruh terhadap 25 subjek orang dewasa yang mencakup jenis kelamin pria dan wanita serta rentang usia 21 hingga 45 tahun. Parameter masukan yang diukur meliputi berat badan, tinggi badan, persentase lemak tubuh, dan indeks massa tubuh (IMT). Data antropometri tersebut diolah oleh sistem untuk menghasilkan luaran berupa klasifikasi status kesehatan yang berbasis pada kategori IMT dan tingkat persentase lemak tubuh. Hasil pemrosesan menunjukkan bahwa sistem mampu mengelompokkan status IMT secara akurat, mulai dari kategori normal (kisaran 19,0–24,6 kg/m^2) hingga tingkat obesitas 1, 2, dan 3. Selain itu, variabel lemak tubuh berhasil diklasifikasikan ke dalam kategori bugar, normal, dan obesitas yang dipengaruhi secara langsung oleh interaksi antara jenis kelamin, usia, dan persentase lemak aktual.

Analisis data mengkonfirmasi adanya korelasi yang konsisten antara parameter input biologis dan keputusan klasifikasi yang dihasilkan oleh algoritma. Fenomena ini terbukti dari keberhasilan sistem dalam mengidentifikasi subjek berlemak tubuh rendah ke dalam kategori bugar, serta mengelompokkan subjek dengan akumulasi lemak dan IMT tinggi ke dalam kategori obesitas secara tepat. Responsivitas algoritma terhadap variasi data biologis ini menunjukkan fleksibilitas dan tingkat akurasi pemrosesan yang tinggi. Secara keseluruhan, hasil pengujian pada 25 subjek tersebut memberikan validasi empiris mengenai keandalan dan kesiapan sistem untuk diimplementasikan secara luas.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan memvalidasi sistem deteksi dini obesitas berbasis logika fuzzy Mamdani yang mengintegrasikan sensor load cell (akurasi 99,30%) dan VL53L0X (akurasi 99,50%) untuk mengukur Indeks Massa Tubuh (IMT), sensor lemak tubuh (akurasi 97,51%), serta keypad dan LCD 20x4 sebagai antarmuka input-output data subjek. Pengujian langsung terhadap 25 subjek dewasa usia 21–45 tahun di UPTD Puskesmas Gampeng membuktikan bahwa sistem beroperasi secara responsif, akurat, dan konsisten dalam mengklasifikasikan status IMT (normal, pra-obesitas, hingga obesitas tingkat 1–3) serta persentase lemak tubuh (bugar, normal, dan obesitas) dengan mempertimbangkan variabel jenis kelamin, usia, dan massa lemak secara fleksibel.

5. SARAN

Untuk pengembangan di masa mendatang, penelitian ini dapat ditingkatkan melalui integrasi konektivitas Internet of Things (IoT) guna mentransmisikan notifikasi indikasi obesitas secara real-time, penambahan metode pengukuran lemak tubuh berbasis hand-to-hand untuk melengkapi skema foot-to-foot yang telah ada, serta pelaksanaan uji klinis dan kalibrasi standar alat medis dengan melibatkan cakupan sampel yang lebih luas dan variatif.

6. DAFTAR PUSTAKA

[1] K. M. Flegal, “HISTORY OF MEDICINE: PEER-REVIEWED ARTICLE Use and Misuse of BMI Categories,” *AMA J. Ethics*, vol. 25, no. 7, pp. E550–E558, 2023, doi: 10.1001/amajethics.2023.550.

[2] A. Zierle-Ghosh and A. Jan, “Physiology, Body Mass Index.,” Treasure Island (FL), 2026.

[3] Y. Wu, D. Li, and S. H. Vermund, “Advantages and Limitations of the Body Mass Index (BMI) to Assess Adult Obesity,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 21, no. 6, 2024, doi: 10.3390/ijerph21060757.

[4] D. Mohajan and H. K. Mohajan, “Body Mass Index (BMI) is a Popular Anthropometric Tool to

Measure Obesity Among Adults," *J. Innov. Med. Res.*, vol. 2, no. 4, pp. 25–33, 2023, doi: 10.56397/jimr/2023.04.06.
[5] M. G. Branco *et al.*, "Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) for the Assessment of Body Composition in Oncology: A Scoping Review The current review considered studies reporting patients with head and neck cancer (HNC) (n = 8), breast cancer (BC) (n = 4), esophageal cancer (EC," pp. 1–29, 2023, [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/nu15224792
[6] N. V. Firdaus, T. D. Ardyanto, and I. Qadrijati, "Relative fat mass and bioelectrical impedance analysis to measure body fat persentage in adolescents," *J. Media Penelit. dan Pengemb. Kesehat.*, vol. 33, no. 3, pp. 117–122, 2023.
[7] M. Aldobali and K. Pal, "Bioelectrical Impedance Analysis for Evaluation of Body Composition: A Review," *2021 Int. Congr. Adv. Technol. Eng. ICOTEN 2021*, 2021, doi: 10.1109/ICOTEN52080.2021.9493494.
[8] E. Sulistyo, A. P. A. Hermawan, I. P. Ramadhan, and Y. Yudhi, "Rancang Bangun Alat Ukur Lemak Tubuh Menggunakan Metode Bioelectrical Impedance Analysis," *J. Inov. Teknol. Terap.*, vol. 1, no. 2, pp. 267–277, 2023, doi: 10.33504/jitt.v1i2.101.
[9] H. H. Tang and N. S. Ahmad, "Fuzzy logic approach for controlling uncertain and nonlinear systems: a comprehensive review of applications and advances," *Syst. Sci. Control Eng.*, vol. 12, no. 1, 2024, doi: 10.1080/21642583.2024.2394429.
[10] A. S. Handayani *et al.*, "Analysis of Android-based Body Health Monitoring System Results using Fuzzy Mamdani Method," vol. 9, pp. 355–362, 2022.
[11] A. Wijaya, N. J. Maryana, and Y. A. Faizin, "Perancangan Library Pada Noise Detection Sensor KY-037 Menggunakan Protokol Komunikasi I2c Pada Arduino," no. 39.
[12] C. Yang, X. Huang, Y. Zheng, Y. Xie, X. Duan, and A. S. Model, "Non-contact Breathing Rate Detection Based on Time of Flight Sensor *," pp. 7284–7287, 2021.
[13] S. Komarizadehasl, B. Mobaraki, and H. Ma, "applied sciences Low-Cost Sensors Accuracy Study and Enhancement Strategy," 2022.
[14] O. S. Al-dahiree *et al.*, "Design and Shape Optimization of Strain Gauge Load Cell for Axial Force Measurement for Test Benches," pp. 1–19, 2022.
[15] Y. Mukhammad, A. Santika, and S. Haryuni, "Analisis Akurasi Modul Amplifier HX711 untuk Timbangan Bayi," no. 1, 2022.
[16] G. W. Andreanto, D. Syauqy, and H. Fitriyah, "Pengembangan Sistem Pengenalan Bahasa Isyarat dengan Sensor Akselerometer menggunakan Metode Naïve Bayes," vol. 5, no. 3, pp. 992–1002, 2021.
[17] Z. H. Bhuiyan and S. A. Sabina, "Multipurpose Surveillance Robot using Arduino Mega 2560 and Bluetooth Module," vol. 04001, pp. 1–15, 2024.
[18] S. Hartanto and I. Ferosa, "SIMULASI RANCANG BANGUN MONITORING PEMAKAIAN AIR PDAM DI GEDUNG BERTINGKAT MENGGUNAKAN NODEMCU ESP8266 BERBASIS IOT," *Elektro*, vol. 12, no. 1, pp. 80–89, 2024.
[19] F. Method, "MITOR : Jurnal Teknik Elektro," pp. 208–215, 2024, doi: 10.23917/emitor.v24i2.4017.
[20] M. Personal and R. Archive, "Munich Personal RePEc Archive A Study on Body Fat Percentage for Physical Fitness and Prevention of Obesity : A Two Compartment Model A Study on Body Fat Percentage for Physical Fitness and," no. 117158, 2023.
[21] K. Keeratirawee, J. S. Furter, and P. C. Hauser, "HardwareX Low-cost electronic circuitry for photoacoustic gas sensing," *HardwareX*, vol. 11, p. e00280, 2022, doi: 10.1016/j.ohx.2022.e00280.
[22] D. Anassafila, T. H. Wijaya, W. Tuti, and Y. M. Heong, "JITE (Journal of Informatics and Telecommunication Engineering) Sallen Key Notch Filter Circuit : Comparison Between Simulation Using Circuit Wizard and Actual Experiment," vol. 7, no. July, pp. 43–56, 2023.
[23] H. B. Applications and I. F. Triantis, "A 3 MHz Low-Error Adaptive Howland Current Source for High-Frequency Bioimpedance Applications," 2024.
[24] P. Madona and R. Fadilla, "Akuisisi Sinyal Electrocardiography (ECG) Berbasis Arduino," vol. 7, no. 1, pp. 35–46, 2021.
[25] A. P. Hakim, S. S. Suprapto, and M. N. Farid, "Received : Februari 2021 Pengaruh Beban dan Filter Pada Penyearah AC-DC Terkendali Untuk Rangkaian Pengisi Li-ion Berbasis Bridge

Rectifier dan Buck Converter Menggunakan Metode CC / CV," vol. 1, no. April, 2021.
[26] R. Saatchi, "Fuzzy Logic Concepts , Developments and Implementation," 2024.