

Rancang Bangun Alat Deteksi Hipotermia berdasarkan Detak Jantung dan Suhu Tubuh dengan Metode *Fuzzy Tsukamoto*

Henry Trenggana¹, Edita Rosana Widasari², Mochammad Hannats Hanafi Ichsan³

Program Studi Teknik Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya
Email: ¹trenggana70@student.ub.ac.id, ²editarosanaw@ub.ac.id, ³hanas.hanafi@ub.ac.id

Abstrak

Hipotermia merupakan sebuah kondisi dimana suhu tubuh berada di bawah rata-rata dan tubuh tidak memiliki kemampuan untuk menghasilkan panas dengan baik karena detak jantung yang melemah dan biasa terjadi pada pendaki yang mendaki gunung.. Hipotermia dapat berbahaya jika tidak segera ditangani karena biasanya pengidap hipotermia tidak tahu bahwa dirinya terkena hipotermia. Pada penelitian ini, dirancang suatu alat untuk mendeteksi hipotermia dengan metode klasifikasi yaitu Metode *Fuzzy Logic Tsukamoto*. *Input Fuzzy* berasal dari sensor MAX30102 untuk menghitung jumlah detak jantung, dan sensor DS18B20 untuk menghitung suhu tubuh. Karena nantinya alat akan digunakan pada daerah pendakian yang memiliki sumber listrik terbatas, pastinya alat membutuhkan mekanisme untuk melakukan penghematan daya. Pada penelitian ini, digunakan mekanisme *low power mode* yang diterapkan pada ATmega328P. Saat alat sedang tidak digunakan, sistem akan masuk ke mode *sleep* dan akan kembali ke mode *wake* jika *trigger* yang terbuat dari *push button* ditekan. Sistem ini memiliki 2 buah komponen yang berfungsi sebagai *output* yaitu OLED 128x32 digunakan untuk menampilkan hasil pembacaan sensor serta hasil klasifikasi dan buzzer yang akan mengeluarkan suara jika pengguna terdeteksi mengalami hipotermia. Penelitian ini mendapatkan akurasi sebesar 96,45% pada sensor MAX30102 pada pengujian pembacaan detak jantung. Pada pengujian pembacaan suhu, penelitian ini mendapatkan akurasi sebesar 99,41%. Pada pengujian akurasi Metode Fuzzy Tsukamoto, didapatkan nilai sebesar 100% dengan rata-rata waktu komputasi sebesar 395,6 μ s. Serta mekanisme *low power mode* yang berhasil mereduksi penggunaan arus rata-rata mencapai 72,2%.

Kata kunci: DS18B20, *Fuzzy Tsukamoto*, Hipotermia, *Low Power Mode*, MAX30102

Abstract

Hypothermia is a condition where the body temperature is below average and the body does not have the ability to produce heat properly due to a weakened heart rate and common in climbers who climb mountain. Hypothermia can be dangerous if not treated immediately because people with hypothermia usually don't know that they have hypothermia. In this study, a tool was designed to detect hypothermia with classification method using the Fuzzy Logic Tsukamoto Method. Fuzzy input come from the MAX30102 sensor to calculate the number of heartbeats, and the DS18B20 sensor to calculate body temperature. Because the tool will be used in climbing areas that have limited power sources, the tool requires a mechanism to save its power. In this study, the low power mode mechanism is used which is applied to the ATmega328P. When the tool is not in use, the system goes into sleep mode and will return to wake mode if the trigger made of a push button is pressed. This system has 2 components that function as output, the 128x32 OLED used to display sensor readings and classification results and a buzzer that will emit a sound if the user is detected to have hypothermia. This study obtained an accuracy of 96.45% on the MAX30102 sensor in the heart rate reading test. In testing the temperature readings, this study obtained an accuracy of 99.41%. In testing the accuracy of the Fuzzy Tsukamoto Method, a value of 100% was obtained with an average computation time of 395.6 μ s. As well as the low power mode mechanism which has managed to reduce the average current usage by up to 72.2%.

Keywords: DS18B20, *Fuzzy Tsukamoto*, Hypothermia, *Low Power Mode*, MAX30102

1. PENDAHULUAN

Semakin tinggi suatu dataran, akan semakin rendah pula tekanan udaranya (Fatmi, 2020). Pada tekanan udara yang rendah, molekul udara akan bergerak lebih lambat dan menyebabkan sedikitnya tabrakan antarmolekul yang terjadi. Oleh karena itu, panas yang dihasilkan pun lebih sedikit serta menyebabkan suhu di sekitar puncak gunung akan terasa lebih dingin. Umumnya, jantung memompa lebih banyak darah saat suhu tubuh berada dibawah normal untuk menjaga suhu tubuh (Damay, 2019). Tetapi hipotermia dapat terjadi jika tubuh tidak mampu menghasilkan panas dengan baik karena detak jantung yang melemah. Dari penjelasan tersebut, dapat disimpulkan bahwa parameter yang dapat digunakan untuk mendeteksi hipotermia adalah detak jantung dan suhu tubuh. Hipotermia memiliki gejala yaitu: menggigil, detak jantung melemah, bicara kurang jelas, mengantuk, dan lemas (Putri, 2017). Hipotermia terbagi menjadi tiga jenis yaitu ringan, sedang, dan berat (Kustina, 2017)

Hipotermia kerap terjadi pada pendaki yang mendaki gunung karena gunung memiliki suhu yang sangat rendah. Jika tidak ditangani lebih lanjut, hipotermia dapat menyebabkan kematian. Belum lagi berita sesat tentang pelecehan seksual berkedok penanganan hipotermia yang terjadi di Indonesia. Untuk mengantisipasi hal tersebut, diperlukan sistem untuk mendeteksi hipotermia agar para pendaki memiliki peringatan awal jika tubuhnya terindikasi mengalami hipotermia. Dari peringatan tersebut, diharapkan para pendaki dapat beristirahat menghangatkan tubuhnya atau membatalkan pendakiannya agar tidak terjadi hal yang tidak diinginkan. Parameter yang digunakan pada sistem ini adalah parameter suhu tubuh dan detak jantung pengguna.

Penelitian serupa pernah dilakukan oleh (Anda, et al., 2021) yaitu deteksi hipotermia dan hipertermia berbasis IoT dengan metode fuzzy. Kekurangan pada penelitian ini adalah sistem tidak cocok digunakan oleh pendaki karena sistem ini tidak bersifat *portable* dan tidak menerapkan *low power mode*. Sehingga kegunaan dari penelitian ini masih belum terlihat jelas. Pengukuran akurasi *fuzzy mamdani* pada penelitian ini mencapai 100%.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh (Akbar, et al., 2018) yaitu sistem monitoring denyut jantung menggunakan NodeMCU dan

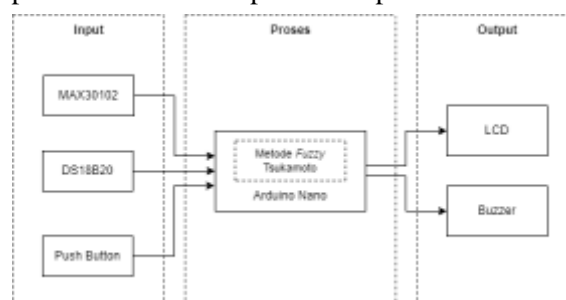
MQTT. Penelitian ini hanya bersifat monitoring saja tanpa adanya klasifikasi penyakit. Pembacaan denyut jantung pada penelitian ini menghasilkan persentase *error* sebesar 2.6%.

Berdasarkan studi literatur yang sudah dilakukan dengan menimbang kekurangan pada penelitian sebelumnya, maka dibuatlah sistem deteksi hipotermia yang dapat digunakan oleh pendaki saat mendaki gunung dengan metode *fuzzy Tsukamoto* dan menerapkan mekanisme *low power mode* untuk menghemat penggunaan daya sistem. Metode *Fuzzy logic* digunakan karena memiliki beberapa kelebihan yaitu memiliki konsep matematis sederhana yang mudah dimengerti, sangat fleksibel, dan memiliki toleransi terhadap data yang kurang tepat (Setiawan, et al., 2018). *Fuzzy Tsukamoto* dipilih karena memiliki kelebihan yaitu lebih intuitif, dapat diterima oleh banyak pihak, dan lebih cocok untuk masukan yang diterima dari manusia bukan mesin (Thamrin, 2012). Seperti yang diketahui, masukan pada sistem ini diterima dari manusia yaitu detak jantung dan suhu tubuh. Untuk mendeteksi jumlah detak jantung, digunakan sensor MAX30102 dan untuk mendeteksi suhu tubuh, digunakan sensor DS18B20. Untuk membuat sistem yang *portable*, waktu komputasi rendah merupakan salah satu yang harus diperhatikan. Karena semakin meningkatnya kompleksitas suatu sistem akan menyebabkan menjadi lama waktu komputasinya (Ridho, et al., 2022).

2. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

2.1 Gambaran Umum Sistem

Terdapat diagram blok dari sistem pada gambaran umum yang sangat penting untuk sistem deteksi hipotermia yang dirancang pada penelitian ini dan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Blok diagram sistem pada Gambar 1 terdiri dari 3 blok, yaitu *input*, *proses*, dan *output*. Pada blok *input*, terdapat *battery* sebagai sumber daya

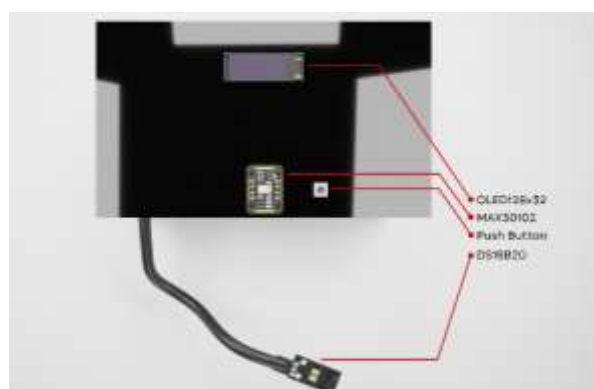
dari sistem. Lalu terdapat sensor MAX30102 dan DS18B20 untuk pembacaan detak jantung dan suhu tubuh. Lalu terdapat *push button* sebagai *trigger* untuk *low power mode* dari mode *sleep* ke mode *wake*. Pada blok proses, terdapat komponen Arduino Nano yang berfungsi sebagai otak pada sistem deteksi hipotermia. Arduino Nano akan menanggapi *input* yang masuk dari sensor untuk di proses dengan metode *fuzzy* Tsukamoto. Terakhir pada blok *output*, terdapat dua komponen yaitu LCD OLED dan Buzzer, dimana OLED berfungsi untuk menampilkan hasil pembacaan sensor dan hasil klasifikasi, sedangkan *buzzer* sebagai penanda jika pengguna terdeteksi hipotermia.

2.2 Perancangan Sistem

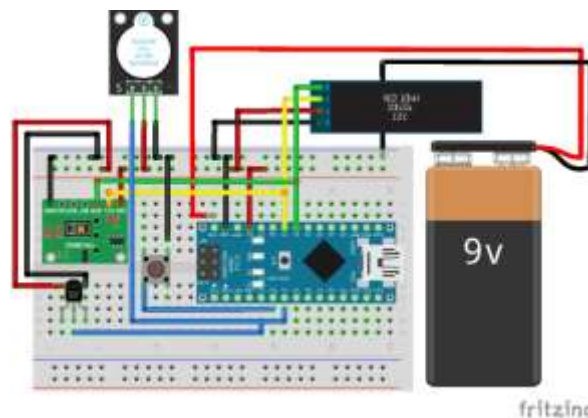
Sebelum masuk ke tahap implementasi, diperlukan perancangan dari sistem yang terdiri perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Tahap perancangan berguna untuk mengetahui bagaimana sistem akan dibuat nantinya, komponen-komponen apa saja yang dibutuhkan, serta bentuk purwarupa dari sistem. Bentuk purwarupa dari sistem dapat dilihat pada Gambar 2. Alat berbentuk kotak berwarna hitam dengan ukuran 12x7x6 cm yang berbahan akrilik. Pada bagian atas kotak, terdapat OLED 128x32, sensor MAX30102, dan *push button*. Sedangkan sensor DS18B20 diletakkan di bagian samping kotak. Arduino Nano, *battery*, dan *buzzer* diletakkan didalam kotak.

Skematik dari perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar 3 menjelaskan bagaimana masing masing komponen dapat terhubung dengan Arduino Nano agar berjalan dengan baik. Pada sensor MAX30102, pin VIN dan GND terhubung dengan pin 5V dan GND pada Arduino Nano. Sedangkan pin SDA dan SCL terhubung dengan pin A4 dan A5 Arduino Nano. Pada sensor DS18B20, pin VCC dan GND terhubung pada pin VCC dan GND Arduino Nano. Untuk pin data, terhubung dengan pin digital D2 karena sensor DS18B20 merupakan sensor dengan data digital. Pada OLED 128x32, pin VCC dan GND terhubung dengan pin 5V dan GND, sedangkan untuk pin SDA dan SCL terhubung dengan pin A4 dan A5. Untuk *buzzer*, data perintah dikirimkan melalui pin D4 dan untuk catu daya terhubung dengan pin 5V dan GND pada Arduino Nano. Untuk *push button* terhubung dengan pin D3 pada Arduino Nano.

Gambar 4 menunjukkan secara sederhana bagaimana sistem dapat berjalan. Pembacaan dari sensor MAX30102 memiliki mekanisme yaitu membaca nilai bpm menggunakan perhitungan yang disediakan oleh *library*. Nilai yang akan dikirim untuk diproses dengan metode *fuzzy* adalah nilai bacaan bpm ke-60 detik. Sedangkan mekanisme pembacaan sensor DS18B20 adalah sensor membaca setiap 4 detik sekali. Data yang akan dikirimkan ke metode *fuzzy* adalah jika hasil pembacaan sudah stabil selama 20 detik (5 kali pembacaan). Setelah data didapatkan, maka akan masuk ke proses fuzzyfikasi, inferensi, dan defuzzyfikasi.



Gambar 2. Desain Purwarupa Sistem



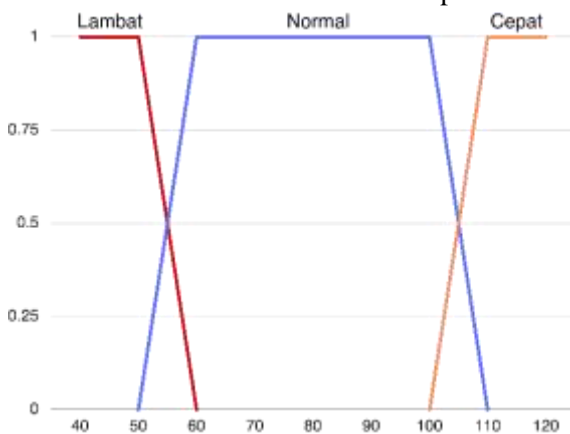
Gambar 3. Diagram Skematik Sistem



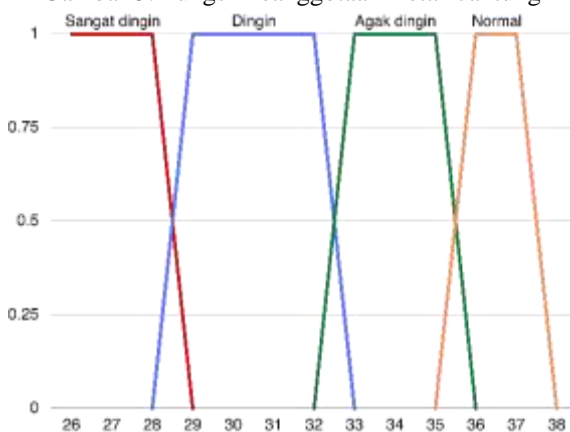
Gambar 4. Diagram Alir Perangkat Lunak

Tahap fuzifikasi merupakan tahapan dimana setiap *input* dari sensor akan dicari nilai derajat keanggotaannya dengan menggunakan fungsi keanggotaan, Gambar 5 menunjukkan derajat keanggotaan dari detak jantung. Derajat keanggotaan detak jantung berbentuk kurva trapesium dengan tiga derajat keanggotaan, yaitu lambat bernilai kurang dari 60 bpm, normal bernilai antara 50 bpm sampai 110 bpm, dan cepat bernilai lebih dari 100 bpm.

Derajat keanggotaan suhu dapat dilihat pada Gambar 6 dimana terdapat 4 derajat keanggotaan. Sangat dingin bernilai kurang dari 29°C, dingin bernilai antara 28°C sampai 33°C, agak dingin bernilai antara 32°C sampai 36°C, dan normal bernilai antara 35°C sampai 38°C.



Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Detak Jantung



Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Suhu

Setelah derajat keanggotaan masing masing *input* didapatkan, maka selanjutnya masuk ke tahap inferensi yaitu mencari nilai α -predikat pada setiap *rules* dengan cara mencari nilai minimal antara derajat keanggotaan, setelah α -predikat didapatkan, maka selanjutnya adalah mencari nilai z dengan membandingkan α -predikat dengan fungsi keanggotaan *output*. Untuk *rules* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1. *Rules* dan fungsi

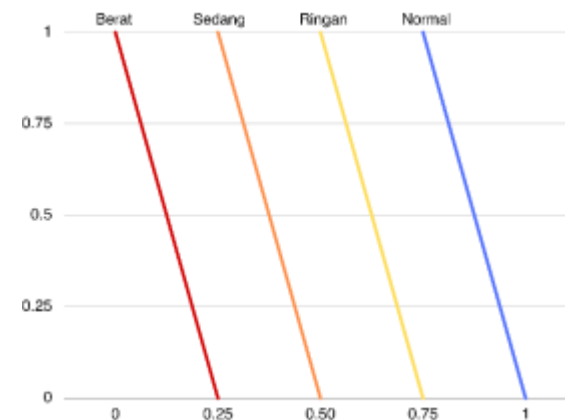
keanggotaan yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Anda, et al., 2021) berdasarkan konsultasi dengan pakar.

Tahap defuzifikasi merupakan tahapan dimana mencari nilai Z menggunakan Persamaan (1). Setelah nilai Z ditemukan, maka akan melakukan pencocokan dengan fungsi keanggotaan *output* pada Gambar 7. Jika nilai Z nya antara 0 sampai 0.24 maka hasil klasifikasinya adalah Hipotermia Berat, jika nilainya antara 0.25 sampai 0.49 maka hasil klasifikasinya adalah Hipotermia Sedang, jika nilainya antara 0.50 sampai 0.74 maka hasil klasifikasinya adalah Hipotermia Ringan, dan jika nilainya antara 0.75 sampai 1 maka hasil klasifikasinya adalah Normal.

$$Z = \frac{\sum(\alpha_i \times z_i)}{\sum \alpha_i} \quad (1)$$

Tabel 1. Rules Fuzzy Deteksi Hipotermia

Rules	Suhu	Detak Jantung	Output
1	Sangat Dingin	Lambat	Berat
2	Dingin	Lambat	Sedang
3	Agak Dingin	Lambat	Sedang
4	Agak Dingin	Normal	Ringan
5	Agak Dingin	Cepat	Ringan
6	Normal	Lambat	Normal
7	Normal	Normal	Normal
8	Normal	Cepat	Normal



Gambar 7. Fungsi Keanggotaan Output

2.3 Implementasi Sistem

Implementasi sistem dapat dilihat pada Gambar 8. Gambar 8 menunjukkan bagaimana kondisi sistem saat sedang menyala tetapi tidak digunakan. Sistem akan masuk kondisi *idle* dengan tampilan OLED “*please put your finger*”.



Gambar 8. Tampilan alat tampak atas

Mekanisme *low power mode* pada sistem ini adalah jika sensor MAX30102 tidak mendeteksi adanya jari selama 30 detik, maka sistem akan masuk ke mode *sleep*. Jika *trigger* dari *push button* ditekan, maka sistem akan kembali ke mode *wake* setelah menampilkan hasil pembacaan terakhir selama 3 detik.

3. PENGUJIAN DAN ANALISIS

3.1 Pengujian Sensor MAX30102

Sensor MAX30102 merupakan sensor yang dapat menghitung jumlah detak jantung manusia dengan menggunakan cahaya infra merah. Cara tersebut biasa disebut dengan *Photoplethysmograph* (PPG). Pada pengujian sensor MAX30102, digunakan alat oximeter yang beredar dipasaran untuk membandingkan hasil perhitungan detak jantung oleh sensor MAX30102. Pengujian sensor MAX30102 memiliki prosedur sebagai berikut:

1. Koneksikan pin sensor MAX30102 dengan pin Arduino Nano.
2. Upload kode program sensor MAX30102 ke Arduino Nano melalui Arduino IDE.
3. Meletakkan jari pada sensor untuk memulai pembacaan.
4. Meletakkan jari lainnya pada oximeter.
5. Menunggu hingga 60 detik, lalu mengamati dan mencatat hasil yang muncul pada OLED dan pada oximeter.
6. Menghitung persentase *error* yang dihasilkan dengan Persamaan (2)

$$NE = \frac{|P_{\text{Pengukuran Alat}} - P_{\text{Pengukuran sensor}}|}{P_{\text{Pengukuran Alat}}} \times 100 \tag{2}$$

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian yang telah dilakukan dengan membandingkan alat oximeter dengan sensor MAX30102. Dari 20 pengujian, diperoleh rata-rata persentase *error* sebesar 3,55%. Untuk menghitung akurasi, diperlukan perhitungan seperti pada Persamaan (3).

$$Akurasi = 100\% - \text{persentase error} \tag{3}$$

Berdasarkan Persamaan (3), akurasi yang didapatkan pada pengujian sensor MAX30102 adalah

$$Akurasi = 100\% - 3,55\%$$

$$Akurasi = 96,45\%$$

Tabel 2. Pengujian Sensor MAX30102

Pengujian ke-	Oximeter (bpm)	Sistem (bpm)	Error (%)
1	68	68	0,00
2	64	63	1,56
3	67	69	2,99
4	65	67	3,08
5	91	86	5,49
6	94	96	2,13
7	90	88	2,22
8	92	90	2,17
9	94	86	8,51
10	87	87	0,00
11	88	82	6,82
12	97	100	3,09
13	96	91	5,21
14	86	84	2,33
15	85	83	2,35
16	94	92	2,13
17	87	76	12,64
18	79	76	3,80
19	94	93	1,06
20	86	83	3,49
Rata-rata error (%)			3,55

3.2 Pengujian Sensor MAX30102

Sensor DS18B20 merupakan sensor yang dapat menghitung besaran suhu tubuh manusia dengan pengiriman data digital. Pada pengujian sensor DS18B20, digunakan alat thermometer berbentuk gun (*thermogun*) yang beredar dipasaran untuk membandingkan hasil perhitungan suhu tubuh oleh sensor DS18B20. Pengujian sensor DS18B20 memiliki prosedur sebagai berikut:

1. Koneksikan pin sensor DS18B20 dengan pin Arduino Nano.
2. Upload kode program sensor DS18B20 ke Arduino Nano melalui Arduino IDE.
3. Tangan menggenggam sensor dengan erat.
4. Menunggu pembacaan sensor stabil hingga muncul hasilnya pada OLED dan mencatat hasilnya.
5. Menggunakan thermogun pada area tangan dan mencatat hasilnya.
6. Menghitung persentase *error* yang dihasilkan dengan Persamaan (2)

Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian yang telah dilakukan dengan membandingkan alat

thermogun dengan sensor DS18B20. Dari 20 pengujian, diperoleh rata-rata persentase *error* sebesar 0,59%. Untuk menghitung akurasi, diperlukan perhitungan seperti pada Persamaan (3). Berdasarkan Persamaan (3), akurasi yang didapatkan pada pengujian sensor DS18B20 adalah

$$Akurasi = 100\% - 0,59\%$$

$$Akurasi = 99,41\%$$

Tabel 3. Pengujian Sensor DS18B20

Pengujian ke-	Thermometer (°C)	Sistem (°C)	Error (%)
1	36,6	35,9	1,91
2	36,7	36,5	0,54
3	35,6	35,6	0,00
4	36,5	36,2	0,82
5	36,4	36,3	0,27
6	36,1	35,7	1,11
7	36,3	36,1	0,55
8	36,2	36,2	0,00
9	36,3	36,1	0,55
10	36,4	36,1	0,82
11	36,8	36,3	1,36
12	36,7	36,6	0,27
13	36,6	36,6	0,00
14	36,7	36,6	0,27
15	36,3	35,8	1,38
16	36,7	36,7	0,00
17	36,7	36,8	0,27
18	36,8	36,4	1,09
19	36,7	36,5	0,54
20	36,6	36,6	0,00
Rata-rata error (%)			0,59

3.3 Pengujian Metode Fuzzy Tsukamoto

Perhitungan *fuzzy* Tsukamoto masuk kedalam fungsionalitas sistem yang harus dapat tercapai. Pengujian pada subbab ini akan dilakukan dengan membandingkan hasil implementasi *fuzzy* dengan perhitungan manual. Pengujian metode *fuzzy* memiliki prosedur sebagai berikut:

1. Menggunakan alat dengan menaruh jari pada sensor MAX30102 dan menggenggam sensor suhu DS18B20.
2. Menunggu pembacaan sensor selesai dan muncul hasil klasifikasinya pada layar OLED kemudian mencatat hasilnya.
3. Menghitung secara manual dengan nilai inputan yang sama dengan yang dihasilkan sensor.
4. Membandingkan kesesuaian hasil klasifikasi Arduino Nano dengan perhitungan manual.

Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian

metode *fuzzy* yang sudah dilakukan dengan membandingkan dengan menganalisis rumus dari metode *fuzzy* dengan perhitungan manual yang telah diterapkan pada sistem. Dapat dilihat pada Tabel 4, hasil dari implementasi *fuzzy* pada sistem dengan analisis rumus *fuzzy* secara manual memiliki hasil yang sama.

3.4 Pengujian Low Power Mode

Pengujian *low power mode* dilakukan dengan mengukur arus yang mengalir dari *battery* menuju Arduino Nano pada kondisi *sleep* maupun *wake*. Setelah itu, akan dihitung persentase penurunannya. Pengujian *low power mode* memiliki prosedur sebagai berikut:

1. Melepas catu daya positif *battery* pada pin VIN Arduino.
2. Mengubah pembacaan multimeter untuk mengukur arus.
3. Menghubungkan kabel merah (positif) pada multimeter ke catu daya positif pada *battery* dan menghubungkan kabel hitam (negatif) pada multimeter ke pin VIN Arduino.
4. Mengamati dan mencatat hasil arus yang terbaca pada layar multimeter.
5. Menghitung persentase penurunan arus dengan Persamaan (4).

$$P = \frac{|Arus\ wake - Arus\ sleep|}{Arus\ wake} \times 100 \tag{4}$$

Dapat dilihat pada Tabel 5, rata-rata penurunan arus yang dilakukan sebanyak 10 percobaan menghasilkan nilai sebesar 72,2%. Hal ini menunjukkan bahwa *low power mode* sangat efektif untuk penghematan daya pada Arduino Nano jika sedang tidak digunakan.

3.5 Pengujian Waktu Komputasi

Pengujian waktu komputasi dilakukan dengan menghitung waktu yang dibutuhkan oleh Arduino Nano untuk mengubah *input* dari sensor menjadi nilai hasil klasifikasi dengan metode *fuzzy*. Pengujian waktu komputasi memiliki prosedur sebagai berikut:

1. Menambahkan kode program untuk perhitungan waktu yang dimulai sesaat sebelum memulai perhitungan *fuzzy* dan berhenti sesaat setelah perhitungan *fuzzy* selesai dengan satuan *microsecond*.
2. Memulai sistem dengan melakukan pembacaan detak jantung dan suhu tubuh.
3. Menunggu hasil klasifikasi serta waktu komputasi keluar
4. Mengamati dan mencatat hasil waktu

komputasi yang tertulis dalam serial monitor.

Hasil dari pengujian waktu komputasi dapat dilihat pada Tabel 6. Kolom waktu menunjukkan waktu komputasi dalam satuan *microsecond*. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata waktu komputasi yang dibutuhkan oleh Arduino Nano untuk memproses metode *fuzzy* adalah sebesar 395,6 *microseconds*.

Tabel 4. Pengujian metode *fuzzy*

Detak Jantung	Suhu (°C)	Klasifikasi	Perhitungan Manual	Kesesuaian
59	35.9	Normal	Normal	Sesuai
61	35.9	Normal	Normal	Sesuai
55	35.9	Normal	Normal	Sesuai
80	32.6	Hipotermia Ringan	Hipotermia Ringan	Sesuai
78	36.3	Normal	Normal	Sesuai
61	35.2	Hipotermia Ringan	Hipotermia Ringan	Sesuai
65	36.5	Normal	Normal	Sesuai
42	36.6	Normal	Normal	Sesuai
42	35.6	Hipotermia Ringan	Hipotermia Ringan	Sesuai
52	32.6	Hipotermia Sedang	Hipotermia Sedang	Sesuai
52	30.1	Hipotermia Sedang	Hipotermia Sedang	Sesuai
47	32.7	Hipotermia Sedang	Hipotermia Sedang	Sesuai
49	34.7	Hipotermia Sedang	Hipotermia Sedang	Sesuai
56	36.2	Normal	Normal	Sesuai
75	36.3	Normal	Normal	Sesuai

Tabel 5. Pengujian *low power mode*

Pengujian ke-	Arus <i>wake</i> (mA)	Arus <i>sleep</i> (mA)	Penurunan (%)
1	23,9	6,4	73,2
2	24,2	6,4	73,6
3	24,2	6,3	74
4	24,3	6,3	74,1
5	23,7	6,3	73,4
6	24	7,9	67,1
7	28,3	7,9	72,1
8	28,2	8	71,6
9	28,2	7,9	72,0
10	27,7	7,9	71,5
Rata-rata penurunan (%)			72,2

Tabel 6 Pengujian Waktu Komputasi

Pengujian ke-	Waktu (microseconds)	
1	344	
2	416	
3	500	
4	396	
5	496	
6	384	
7	404	
8	336	
9	292	
10	388	
Rata-rata		395,6

4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil perancangan, implementasi, pengujian, dan analisis dari penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan yaitu penelitian ini menghasilkan pengujian *error* pada perhitungan bpm sensor MAX30102 sebesar 3,55% Rata-rata *error* pada perhitungan suhu sensor DS18B20 sebesar 0,59%. Hasil *error* yang dihasilkan pada kedua sensor terbilang cukup kecil. Dari persentase *error* tersebut, didapatkan akurasi sensor MAX30102 sebesar 96,45% dan akurasi sensor DS18B20 sebesar 99,41%. Kemudian, Metode *Fuzzy Tsukamoto* berhasil diimplementasikan ke sistem pada penelitian ini dan dapat berjalan sesuai dengan harapan sehingga dapat mengeluarkan *output* sesuai dengan perhitungan. Akurasi yang didapatkan pada perhitungan Metode *Fuzzy Tsukamoto* mencapai 100%. Selanjutnya, mekanisme *low power mode* yang digunakan pada penelitian ini mampu menurunkan rata-rata arus sebesar 72,2 % pada mode *sleep*. Salah satu arus yang tercatat pada saat *wake* adalah 24 mA dan saat *sleep* adalah 7,9 mA. Serta sistem yang dirancang pada penelitian ini memiliki rata-rata waktu komputasi Metode *Fuzzy Tsukamoto* mencapai 395,6µs. Angka tersebut terbilang cukup rendah karena sistem ini bersifat *portable* dan memiliki kompleksitas yang rendah.

Saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya agar dapat dikembangkan adalah yang pertama menambahkan fitur lain seperti SOS yang terhubung langsung dengan instansi kesehatan jika ada keadaan darurat terkait hipotermia. Selain itu, sensor MAX30102 juga perlu diberikan *casing* berbentuk jepitan jari agar tekanan yang diberikan jari kepada sensor konsisten.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, et al., 2018. Sistem Monitoring Denyut Jantung Menggunakan NodeMCU dan MQTT. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer* Tersedia di: <<https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/3480>> [Diakses 21 Desember 2022]
- Anda, et al., 2021. Penerapan Logika Fuzzy Sebagai Alat Deteksi Hipotermia dan Hipertermia pada Manusia Berbasis Internet of Thing (IoT). *Jurnal Rekayasa Elektrika*, [online] Tersedia di: <<http://repository.unej.ac.id/handle/123456789/105440>> [Diakses 21 Desember 2022]
- Damay. 2019. Hati-hati jika Berencana ke Tempat Bersuhu Dingin Ekstrem, Ini Pengaruhnya Pada Jantung. [online] Tersedia di: <https://helohehat.com/jantung/jantung-lainnya/pengaruh-suhu-dingin-pada-jantung>> [Diakses 24 Agustus 2022]
- Fatmi, N., 2020. Tekanan Udara Dalam Perspektif Sains dan Al-Qur'an. *Al-Madâris*, [online] Tersedia di: <<https://doi.org/10.47887/amd.v1i1.6>> [Diakses 11 Agustus 2022]
- Kustina, et al., 2017. Hubungan Pengetahuan Tentang Hipotermi Terhadap Praktik Penanganan Hipotermi Pada Mahasiswa Pecinta Alam (MAPALA). D4. Universitas Muhamadiyah Semarang. Tersedia di <<http://repository.unimus.ac.id/860/3/BA-B%20II.pdf>> [Diakses 11 Desember 2022]
- Putri, D. I., et al, 2021. Komposisi Tari di Bawah 35 °C Klasifikasi Gejala Hipotermia Dalam Penggarapan Tari Tunggal Kontemporer. S1. Institut Seni Indonesia Padangpanjang. Tersedia di <<https://journal.isi-padangpanjang.ac.id/index.php/Lagalaga/article/view/3108/1144>> [Diakses 11 Agustus 2022]
- Ridho, et al., 2022 Implementasi Klasterisasi K-Means pada Master-Slave Genetic Algorithm untuk Menurunkan Waktu Komputasi: Studi Kasus Optimasi Mesin CNC Batik Tulis. S1. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Tersedia di <<https://ejournal.its.ac.id/index.php/teknik/article/view/87185/7170>> [Diakses 21 Desember 2022]
- Setiawan, A., et al, 2018. Logika Fuzzy dengan Matlab (Contoh Kasus Penelitian Penyakit Bayi dengan Fuzzy Tsukamoto). [e-book] Bali: Jayapangus Press. Tersedia di: Research Gate <<https://www.researchgate.net/publication/326624596>> [Diakses 11 Agustus 2022]
- Thamrin, F., 2012. Studi Inferensi Fuzzy Tsukamoto Untuk Penentuan Faktor Pembebanan Trafo PLN. S2. Universitas Diponegoro. Tersedia di <<https://core.ac.uk/download/pdf/11734554.pdf>> [Diakses 24 Agustus 2022]