

Rancang Bangun Termometer Tubuh Digital Berbasis Sensor NTC W1209 10k

Hendi Handian Rachmat¹, Melati Dwi Ananda²

Program Studi Teknik Elektro,

Fakultas Teknologi Industri,

Institut Teknologi Nasional Bandung

¹hendi_hr@itenas.ac.id, ²dwianandamelati@gmail.com

Ringkasan

Pada *paper* ini dilakukan implementasi sensor NTC tipe W1209 10k yang memiliki kemasan ergonomis, kecil dan tahan air untuk digunakan sebagai sensor suhu pada termometer tubuh digital. Termometer ini dirancang dengan *range* suhu dari 32°C sampai dengan 42°C dengan ketelitian 0,1°C. *Paper* ini ditujukan untuk melakukan evaluasi karakteristik sifat resistansi sensor NTC tipe W1209 10k untuk *range* suhu tubuh manusia, durasi waktu pengukuran suhu, dan akurasi pengukuran suhu. Sistem termometer ini diimplementasikan dengan menghubungkan sensor NTC pada rangkaian Jembatan *Wheatstone* untuk mengkonversi perubahan resistansi menjadi perubahan tegangan differensial. Tegangan ini kemudian dikuatkan dengan penguat differensial *op-amp* untuk menyesuaikan dengan resolusi konversi ADC internal 10-bit yang dilakukan oleh mikrokontroler Arduino Nano. Nilai digital selanjutnya dihitung pada mikrokontroler untuk dapat menampilkan hasil suhu terukur. Dari hasil pengujian yang dilakukan terhadap media air untuk *range* suhu dari 28°C sampai dengan 63°C, diperoleh nilai rata-rata resistansi dari 23 kΩ ($\pm 0,02$ kΩ) sampai dengan 9,1 kΩ ($\pm 0,07$ kΩ). Durasi pengukuran terbaik termometer dengan sensor NTC untuk pengukuran pada naracoba diperoleh selama dua menit. Adapun hasil pengukuran suhu dengan media air dan melalui tubuh pada bagian ketiak naracoba diperoleh bahwa rata-rata akurasi secara berturut-turut, yaitu 0,05°C ($\pm 0,03$ °C) dan 0,03°C ($\pm 0,03$ °C).

Kata kunci: akurasi, durasi waktu pengukuran, resistansi, sensor NTC, termometer digital

Abstract

In this paper, a digital body thermometer was implemented using a W1209 10k NTC sensor with an ergonomic, small, and waterproof casing. The thermometer was designed to measure a temperature range from 32°C to 42°C with a resolution of 0.1°C. The goals of this paper were to evaluate the resistance characteristic of the NTC sensor relative to body temperature, determine the optimum measurement time, and assess the measurement accuracy. To convert the resistance value to a differential voltage value, the NTC sensor was embedded in a Wheatstone bridge circuit. The difference voltage from the output of the Wheatstone bridge circuit was then amplified by an operational amplifier-based differential amplifier with a gain of two to conform to a 10-bit internal ADC voltage resolution of the Arduino Nano microcontroller module. The digital value was then calculated back to yield the temperature value in the Arduino Nano module. The results showed that the average resistance ranged from 23 kΩ (± 0.02 kΩ) to 9.1 kΩ (± 0.07 kΩ) for temperatures from 28°C to 63°C. The best measurement time using the NTC sensor thermometer was found to be two

minutes. Additionally, the thermometer showed an average accuracy of 0.05°C ($\pm 0.03^{\circ}\text{C}$) and 0.03°C ($\pm 0.03^{\circ}\text{C}$) during the measurement of water heated and an armpit, respectively.

Keywords: accuracy, digital body thermometer, measurement time, resistance, NTC sensor

1. Pendahuluan

Suhu tubuh merupakan salah satu tanda-tanda vital kesehatan manusia yang dijadikan sebagai parameter untuk mendiagnosis kondisi kesehatan pasien oleh tenaga medis [1], [2]. Pengukuran suhu permukaan tubuh masih optimal dilakukan dengan menggunakan termometer digital pada bagian ketiak, dimana pengukuran di lokasi tersebut relatif kecil dipengaruhi oleh udara lingkungan di sekitar tubuh [3]. Pada saat ini, banyak digunakan termometer digital berbasis sensor NTC karena relatif lebih kecil, cepat, kuat, stabil, handal, dan aman dibandingkan dengan termometer merkuri [4]–[6]. Meskipun sensor ini memiliki karakteristik yang non-linier antara suhu dengan resistansi yang dihasilkan [1], [4], [7]–[9], namun telah banyak diteliti metode-metode untuk memperbaiki ketidaklinieran tersebut. Beberapa metode yang digunakan adalah dengan menggunakan rangkaian konversi resistansi menjadi tegangan [1] seperti rangkaian Jembatan [7], [9], [10] dan rangkaian pembagi tegangan, serta dilakukan pendekatan terhadap karakteristik tersebut dengan persamaan interpolasi [11], [12].

Sensor NTC merupakan sensor berdimensi kecil yang relatif kuat, stabil, dan handal, serta sensitivitasnya yang tidak terlalu cepat [4], [6]. Namun, penggunaan sensor NTC ini memiliki kendala pengemasan (*packaging*), sensitivitas, dan akurasi ketika sensor suhu ini akan dikembangkan menjadi termometer tubuh digital. Rachmat dan Ughi [12] telah mencoba mengembangkan termometer suara berbasis sensor NTC dari termometer digital yang berada di pasaran dengan cara membongkar dan mengambil bagian sensor dari termometer tersebut dan kemudian melakukan perancangan ulang. Hal ini dilakukan untuk mengatasi masalah pengemasan sensor hingga ergonomis dan sulitnya memodifikasi termometer digital yang telah ada di pasaran. Pengambilan sensor dari termometer digital tersebut tentu tidak efisien jika termometer perlu dikembangkan lebih lanjut pada sistem elektronika yang lebih terintegrasi atau diproduksi secara massal.

Dengan adanya sensor NTC tipe W1209 10 k, seperti terlihat pada Gambar 1, yang telah bersifat *waterproof*, ergonomi, dan berdimensi relatif kecil (5 mm x 25 mm) [13], maka pengembangan termometer tubuh digital dengan sensor NTC untuk berbagai aplikasi dapat dilakukan tanpa harus mengambil bagian sensor dari termometer digital yang telah ada. Dari penelitian sebelumnya, telah dilakukan evaluasi karakteristik resistansi sensor NTC tipe W1209 10 k untuk mengetahui nilai resistansi NTC terhadap sejumlah suhu terutama yang dapat mencakup pada daerah suhu tubuh manusia, yaitu 32°C - 42°C [14]. Hal ini dikarenakan *datasheet* sensor NTC tipe W1209 10 k hanya menyatakan nilai resistansi NTC ini akan bernilai 10 k Ω pada suhu kamar (*room temperature*) yaitu pada suhu 26°C dan tidak menyatakan nilai resistansi lainnya, khususnya pada *range* suhu tubuh manusia, yaitu 32°C - 42°C .

Dari hasil penelitian Ananda dan Rachmat telah dilakukan pengujian nilai resistansi sensor NTC tipe W1209 10 k dari suhu 28°C - 63°C dengan resolusi 1°C dan diperoleh bahwa nilai resistansi terhadap perubahan suhu dapat berhasil didekati dengan persamaan polynomial orde-4 dengan koefisien determinasi (R^2) = 0,999 [14]. Dari hasil penelitian pendahuluan tersebut, maka penelitian ini ditujukan untuk melakukan implementasi sebuah termometer tubuh digital berbasis sensor NTC tipe W1209 10 k

untuk mengevaluasi karakteristik termometer digital berbasis sensor NTC, khususnya durasi waktu pengukuran suhu dan akurasi pengukuran suhu.



Gambar 1. Bentuk fisik sensor NTC tipe W1209 10k

2. Kajian Pustaka

Suhu tubuh merupakan salah satu tanda vital indikator kesehatan manusia yang berguna bagi dokter untuk menentukan diagnosis kondisi kesehatan pasien dan jenis perawatan yang perlu dipersiapkan oleh instansi kesehatan [2], [15], [16] dan sebagai indikator tubuh berespon terhadap suatu infeksi [17], [18]. Kondisi suhu tubuh normal manusia berkisar dari 36,5°C sampai dengan 37,5°C [2], [15]–[17]. Suhu tubuh diukur menggunakan termometer di sejumlah lokasi bagian tubuh, baik secara *invasive* maupun *non-invasive*. Standar utama yang digunakan untuk mengukur suhu tubuh secara *invasive*, yaitu mengukur suhu darah, mengukur pada bagian *oesophagus*, pada bagian *nasopharynx*, atau pada bagian *urinary bladder* [16], [19]. Adapun pengukuran suhu tubuh secara *non-invasive* dilakukan pada bagian tubuh, seperti dubur (*rectum*), mulut, ketiak, dahi dan telinga [17], [19]–[21].

Pada awalnya, jenis termometer untuk pengukuran *non-invasive* menggunakan termometer dari bahan air raksa, namun bahan ini sangat berbahaya karena penguapan bahan ini dapat membahayakan organ otak, ginjal, hati, dan paru-paru [6], [22]. Selanjutnya, pengukuran suhu tubuh beralih ke termometer jenis digital yang menggunakan berbagai jenis sensor, seperti *thermistor* (NTC atau PTC) [7], [12], [14], [18], *semiconductor* (LM35 atau DS18B20) [23]–[26] dan *optical sensor (infrared sensor)* [15], [20], [27]. Khusus untuk termometer jenis *optical sensor* berbasis sensor *infrared*, termometer ini sementara hanya berfungsi untuk melakukan proses *screening* pasien [15], [16], seperti untuk kasus pandemi COVID-19 dan tidak direkomendasikan untuk keperluan diagnosis suatu penyakit [28], dimana diperlukan suatu alat ukur suhu yang bersifat non-kontak dengan pasien. Adapun untuk jenis sensor lainnya bersifat kontak dengan pasien. Pengukuran suhu dengan menggunakan *infrared* biasa dilakukan pada lubang telinga, dahi, leher, dan bagian *temples* (bagian datar pada wajah antara dahi dan telinga) [20].

Thermistor merupakan salah satu jenis resistor yang nilai resistansi atau nilai hambatannya dipengaruhi oleh suhu (temperatur). Terdapat dua jenis *thermistor*, yaitu NTC (*Negative Temperature Coefficient*) dan PTC (*Positive Temperature Coefficient*). Seperti namanya, nilai resistansi *thermistor* NTC akan turun jika suhu di sekitar *thermistor* NTC tersebut tinggi (berbanding terbalik/negatif), sedangkan untuk *thermistor* PTC, semakin

tinggi suhu di sekitarnya, semakin tinggi pula nilai resistansinya (berbanding lurus/positif).

Thermistor NTC dapat diaplikasikan sebagai sensor di berbagai bidang, seperti kesehatan, nuklir elektronik, dan otomotif [29], yang bertujuan untuk melakukan akuisisi besaran fisis temperatur [15]. Dalam pengaplikasiannya, *thermistor* NTC dapat mengukur suhu dari -50°C sampai dengan 150°C [4], sehingga dapat diaplikasikan untuk pembuatan termometer tubuh yang memiliki spesifikasi pengukuran suhu dari 32°C sampai dengan 42°C . Penelitian Anelini dan rekan membagi kondisi temperatur tubuh ke dalam empat bagian, yaitu *Hypothermia* (kurang dari 35°C), Normal ($36,5^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $37,5^{\circ}\text{C}$), demam/*Hyperthermia* ($37,5^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $38,3^{\circ}\text{C}$), dan *Hyperpyrexia* (40°C atau $41,5^{\circ}\text{C}$) [17]. *Thermistor* telah banyak digunakan untuk pengukuran yang cepat dan tepat, karena *thermistor* memiliki ukuran yang relatif kecil, *low thermal inertia* dan memiliki sensitivitas dan kehandalan yang relatif baik [30]. Bentuk *thermistor* NTC yang ada di pasaran saat ini bermacam-macam bentuk fisiknya. Salah satu bentuk fisik *thermistor* NTC adalah NTC *waterproof* seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Dengan adanya bentuk NTC seperti ini, maka dimungkinkan untuk mengembangkan termometer digital dari mulai bagian sensor sampai dengan bagian *output* tanpa harus merombak termometer digital yang ada di pasaran.

NTC memiliki banyak kegunaan untuk pengukuran dan kontrol suhu. NTC memiliki karakteristik yang tidak linear tetapi masih bisa menunjukkan nilai yang sangat akurat. Ketidaklinearan dari karakteristik tersebut masih dapat dimodifikasi dengan menambahkan beberapa rangkaian elektronik tambahan [11] dan menghubungkan *thermistor* dengan komponen resistor pasif, baik secara seri maupun paralel, agar menghasilkan respon linieritas yang lebih baik [30].

3. Metodologi Penelitian

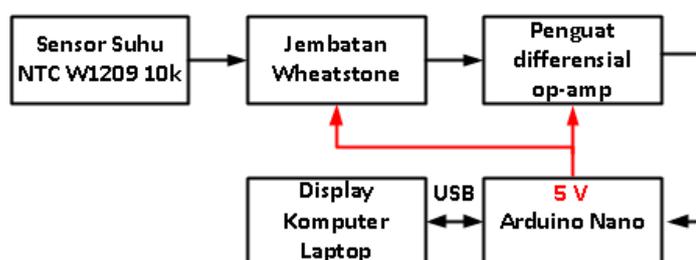
Untuk menguji karakteristik termometer digital berbasis sensor NTC sebagai termometer digital tubuh manusia, terlebih dahulu dilakukan perancangan dan implementasi termometer digital berbasis sensor NTC, kemudian termometer tersebut diuji dengan membandingkan hasil pengukuran dengan termometer referensi berupa termometer digital yang ada di pasaran. Pengujian dilakukan terhadap dua jenis objek, yaitu air yang dipanaskan dan didinginkan sebagai sumber panas, serta suhu tubuh beberapa orang relawan sebagai naracoba melalui pengukuran suhu tubuh pada bagian ketiak.

Termometer digital berbasis sensor NTC W1209 10k dirancang dengan spesifikasi sistem sebagai berikut:

- NTC tipe W1209 10k sebagai sensor suhu
- Rangkaian Jembatan *Wheatstone* dan rangkaian penguat differensial *op-amp* sebagai pengkondisi sinyal
- Arduino Nano sebagai pemroses sinyal
- Range* suhu pengukuran dari 32°C sampai dengan 42°C
- Ketelitian suhu yang terukur $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.
- Display* monitor melalui serial monitor Arduino digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran.

Diagram blok sistem termometer digital berbasis sensor NTC W1209 10k ditampilkan pada Gambar 2, dimana perubahan suhu tubuh diukur oleh sensor NTC yang

ditunjukkan dengan perubahan nilai resistansi dari sensor NTC. Perubahan nilai resistansi sensor NTC diubah menjadi nilai tegangan DC dengan menggunakan rangkaian Jembatan *Wheatstone*. Untuk menyesuaikan nilai resolusi tegangan ADC 10 bit yang terdapat pada internal modul Arduino Nano [31], maka digunakan penguat differensial *op-amp*. Tegangan analog ini kemudian dikonversikan menjadi kode digital oleh ADC, dimana selanjutnya diproses kembali menjadi nilai suhu terukur berdasarkan hubungan persamaan matematis antara tegangan terhadap suhu. Nilai suhu terukur ditampilkan pada layar komputer melalui fasilitas serial monitor pada modul Arduino Nano. Catu daya sistem termometer suhu tubuh ini masih menggunakan catu daya dari port USB komputer *Laptop*.

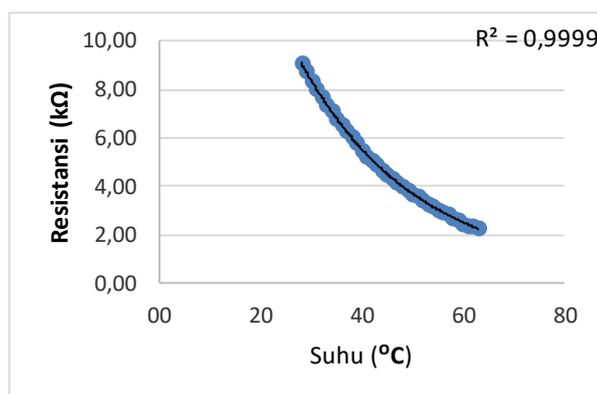


Gambar 2. Diagram blok termometer tubuh digital sensor NTC W1209 10k

3.1. Metodologi Perancangan dan Implementasi Sistem

Karakteristik resistansi sensor NTC W1209 10k (y) terhadap perubahan suhu (x) menggunakan persamaan dan kurva karakteristik yang diperoleh oleh penelitian dari Ananda dan Rachmat seperti ditunjukkan pada Persamaan (1) dan Gambar 3. Nilai koefisien determinasi (R^2) dari persamaan ini, yaitu sebesar 0,9999. Dengan persamaan ini dilakukan perhitungan nilai resistansi untuk *range* suhu dari 32°C sampai dengan 42°C dengan resolusi atau kenaikan suhu sebesar 0,1°C.

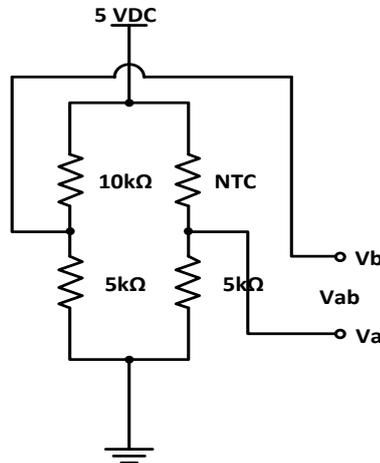
$$y = (2 \times 10^{-7}) \cdot x^4 - (1 \times 10^{-4}) \cdot x^3 + 0,0148 \cdot x^2 - 0,9921 \cdot x + 27,341 \quad (1)$$



Gambar 3. Kurva karakteristik perubahan suhu terhadap nilai resistansi sensor NTC W1209 10k

Nilai resistansi pada 32 °C adalah sebesar 7,68 kΩ dan pada 42°C adalah sebesar 4,99 kΩ. Besarnya nilai resistansi minimum dan maksimum yang dimiliki oleh sensor NTC pada *range* suhu 32°C - 42°C berpengaruh pada penentuan komponen tiga buah resistor lain pada rangkaian Jembatan *Wheatstone*. Nilai-nilai resistansi pada rangkaian jembatan perlu diatur dengan tepat agar ketelitian pengukuran suhu setiap 0,1°C dapat terdeteksi oleh resolusi tegangan ADC internal 10-bit dari Arduino Nano yaitu lebih

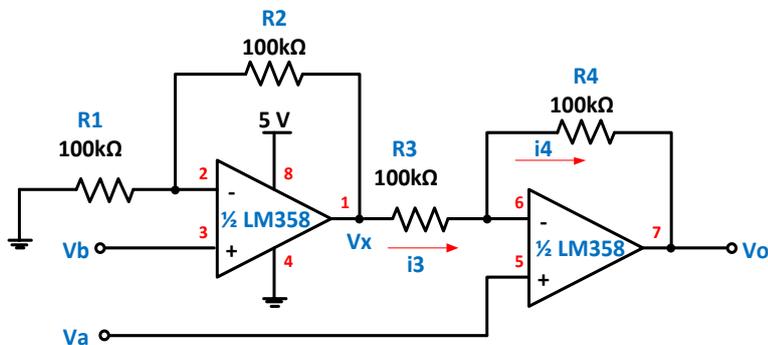
kurang sebesar 5 mV (untuk tegangan referensi sebesar 5 V). Untuk memenuhi spesifikasi tegangan keluaran rangkaian Jembatan *Wheatstone* tersebut, maka dipilih nilai-nilai resistansi yaitu sebesar 10kΩ, 5kΩ dan 5kΩ, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Skematik diagram rangkaian Jembatan *Wheatstone*

Dengan konfigurasi nilai-nilai resistor ini, selanjutnya dilakukan simulasi perhitungan nilai keluaran tegangan V_{ab} untuk kondisi nilai resistansi pada saat suhu 32°C sampai dengan nilai resistansi hingga suhu 42°C, dengan kenaikan suhu 0,1°C. Dari hasil perhitungan, diperoleh nilai tegangan minimum V_{ab} sebesar 317,284 mV dan tegangan maksimum V_{ab} sebesar 868,337 mV dengan rata-rata (\pm standar deviasi) resolusi tegangan (untuk setiap 0,1°C) adalah sebesar 5,51 mV (\pm 0,14 mV). Hal ini menunjukkan bahwa setiap perubahan suhu 0,1°C akan mengubah nilai ADC sebesar rata-rata 1 digit.

Namun, pada perancangan sistem ini dilakukan penguatan kembali terhadap tegangan V_{ab} sebesar dua kali penguatan agar setiap perubahan suhu 0,1°C dikonversikan oleh ADC dengan perubahan 2-digit kode digital. Hal ini untuk menghindari kesalahan pembacaan perubahan suhu oleh ADC. Dengan penguatan tersebut, maka diperoleh nilai tegangan keluaran minimum penguat sebesar 634,568 mV dan tegangan maksimum V_{ab} sebesar 1736,673 mV (1,737 V). *Range* tegangan keluaran penguat ini masih dalam *range* tegangan deteksi dari ADC internal 10-bit yang memiliki *range* tegangan dari 0 V (digit 0) sampai dengan 5 V (digit 1023).



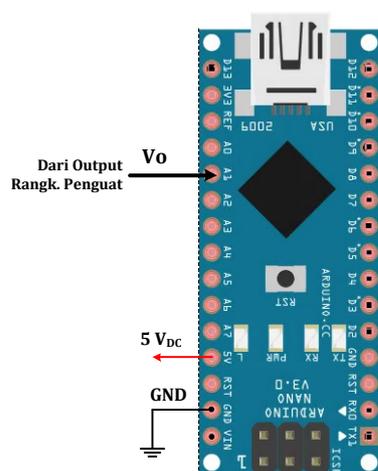
Gambar 5. Skematik diagram rangkaian penguat differensial *Op-Amp* IC-LM358

Pada sistem ini, rangkaian penguat tegangan diimplementasikan menggunakan komponen rangkaian terintegrasi (*Integrated Circuit/IC*) *operational amplifier (op-amp)* tipe LM358. Rangkaian penguat yang dirancang adalah jenis rangkaian penguat differensial dengan catu daya DC Tunggal, yaitu +5 V. Berdasarkan *datasheet* IC ini, penguat differensial ICLM358 dilakukan dengan cara *cascade* dua buah penguat *op-amp non-inverting* [32]. Walaupun dilakukan dengan cara *cascade*, namun rangkaian ini masih cukup menggunakan satu buah IC LM358 saja karena IC ini memiliki dua buah *op-amp* di dalam satu buah IC. Pada Gambar 5 ditunjukkan rangkaian penguat differensial *op-amp* dengan cara *cascade*.

Dengan nilai seluruh resistor sama dengan 100 k Ω ($R_1 = R_2 = R_3 = R_4$), maka tegangan keluaran V_o (V) menghasilkan penguatan sebesar dua kali dari tegangan *input* differensial V_a (V) dan V_b (V). Hubungan antara tegangan differensial V_{ab} dan tegangan keluaran V_o ditunjukkan pada Persamaan (2).

$$V_o = 2 \cdot V_a - 2 \cdot V_b = 2(V_a - V_b) = 2(V_{ab}) \quad (2)$$

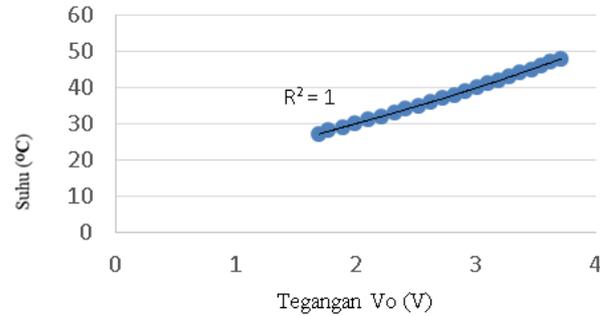
Bagian masukan rangkaian penguat differensial ini (pin V_a dan V_b) dihubungkan dengan bagian keluaran rangkaian Jembatan Wheatstone. Keluaran rangkaian penguat differensial *op-amp* (V_o) dihubungkan ke salah satu pin analog modul Arduino Nano (pin A1), seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Catu daya untuk modul kontroler Arduino Nano masih berasal dari laptop komputer melalui port USB. Adapun catu daya tegangan 5V untuk rangkaian jembatan dan rangkaian penguat differensial berasal dari pin 5V dan ground modul Arduino Nano. Pada modul kontroler Arduino Nano, data tegangan diolah dan ditampilkan kembali menjadi nilai suhu terukur pada bagian display. Nilai suhu yang ditampilkan merupakan hasil pengolahan data dari persamaan hubungan antara suhu dengan nilai tegangan V_o yang terukur.



Gambar 6. Skematik diagram rangkaian kontroler berbasis Arduino Nano

Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan V_o untuk setiap kenaikan suhu per 1 $^{\circ}$ C suhu air yang dipanaskan dari 27 $^{\circ}$ C sampai dengan 48 $^{\circ}$ C. Pada Gambar 7 ditunjukkan karakteristik perubahan nilai tegangan terhadap suhu terukur. Untuk pengambilan data ini hanya dilakukan untuk suhu maksimum 48 $^{\circ}$ C, karena suhu di atas 48 $^{\circ}$ C akan menghasilkan nilai tegangan V_o lebih dari 3,7 V. Nilai tegangan ini melebihi tegangan keluaran maksimum rangkaian penguat differensial, yaitu 3,5 V, untuk tegangan suplai (V_{cc}) sebesar 5 V. Hal ini berdasarkan spesifikasi teknik *voltage swing*

dari IC LM385 [32]. Dengan suhu maksimum sebesar 48°C tidak mengurangi fungsi atau spesifikasi sistem termometer tubuh yang dirancang, karena termometer sensor NTC ini dirancang untuk mengukur suhu tubuh maksimum hingga 42°C.



Gambar 7. Karakteristik perubahan nilai tegangan V_o terhadap suhu terukur dari 27°C sampai dengan 48°C

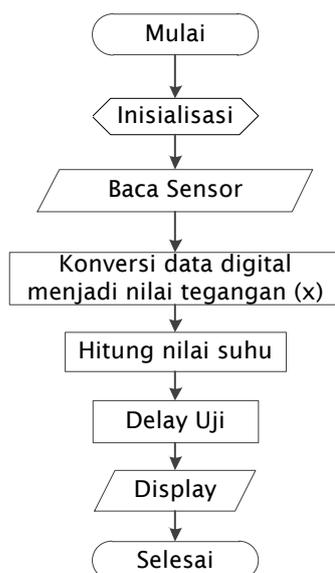
Kurva karakteristik perubahan nilai tegangan terhadap suhu terukur didekati dengan persamaan regresi polinomial orde-4 sehingga mendapatkan koefisien determinasi $R^2 = 1$. Adapun persamaan matematis tersebut adalah ditunjukkan pada Persamaan (3).

$$Suhu = -0,2367 \cdot V_o^4 + 2,8347 \cdot V_o^3 - 11,594 \cdot V_o^2 + 29,328 \cdot V_o - 1,1766 \quad (3)$$

Persamaan (3) dijadikan acuan untuk menampilkan nilai suhu terukur (°C) berdasarkan nilai tegangan keluaran V_o (V) akibat dari suhu objek yang terukur pada sensor NTC. Nilai tegangan V_o (V) ini dikonversikan terlebih dahulu oleh ADC internal menjadi bilangan desimal dari range 10-bit ADC, yaitu dari 0 sampai dengan 1023 (untuk full scale = 5 V). Namun, dikarenakan Persamaan (3) merupakan persamaan dengan input berupa nilai tegangan, maka hasil konversi ADC internal diubah kembali menjadi nilai tegangan dengan Persamaan (4).

$$Tegangan V_o [V] = \text{bilangan ADC} \times \frac{V_{Full\ Scale}}{1023} \quad (4)$$

Adapun diagram alir program untuk menampilkan suhu terukur pada *display* (melalui serial monitor) ditunjukkan pada Gambar 8. Program ini digunakan untuk mengukur satu kali pengukuran suhu, dimana sistem perlu di-*reset* untuk mengukur suhu kembali. Pengukuran suhu pada sistem ini diuji untuk tiga jenis durasi pengukuran (*delay* uji), yaitu 1 menit, 2 menit dan 3 menit. Ketiga jenis durasi pengukuran ini diuji ketika sistem termometer mengukur suhu tubuh naracoba pada bagian ketiak.



Gambar 8. Diagram alir pemrograman sistem termometer tubuh berbasis sensor NTC W1209 10k

3.2. Metodologi Pengujian Sistem

Pengujian sistem ini bertujuan untuk mengetahui keakuratan sistem termometer sensor NTC W1209 10k yang telah diimplementasikan. Terdapat dua jenis media yang digunakan untuk menguji sistem, yaitu pengukuran suhu air yang dipanaskan dan pengukuran suhu tubuh naracoba pada bagian ketiak. Setiap hasil pengukuran suhu yang dilakukan dibandingkan terhadap termometer referensi, dimana termometer makanan tipe TP101 digunakan sebagai termometer referensi-1 (Tref1) ketika melakukan pengukuran suhu air [33] dan termometer tubuh digital merk OMRON model MC-246 digunakan sebagai termometer referensi-2 (Tref2) ketika melakukan pengukuran suhu tubuh naracoba [34].

Pengujian pertama dengan media air dilakukan sebanyak tiga set pengujian, dimana satu set pengujian terdiri dari pengujian pengukuran suhu air setiap perubahan 1°C ketika air dipanaskan dan ketika air didinginkan dengan rentang suhu dari 27°C sampai dengan 48°C . Adapun pengujian kedua dengan media pengukuran suhu tubuh naracoba dilakukan pada sepuluh orang naracoba yang diulang sebanyak tiga kali pada waktu yang berbeda. Pengujian terhadap naracoba menggunakan pengukuran suhu dengan tiga jenis durasi waktu pengukuran, yaitu 1 menit, 2 menit, dan 3 menit.

4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Hasil pengujian sistem ini lebih terfokus pada sistem termometer secara keseluruhan, yaitu pertama ketika digunakan untuk menguji tanpa naracoba dengan mengukur perubahan suhu media air setiap 1°C dengan rentang suhu dari 27°C sampai dengan 48°C dan kedua ketika mengukur suhu tubuh naracoba dengan menggunakan tiga durasi waktu pengukuran yang berbeda, yaitu 1 menit, 2 menit dan 3 menit. Pengujian ini memang hanya dilakukan dengan kenaikan 1°C , tidak dilakukan dengan kenaikan $0,1^{\circ}\text{C}$ sesuai dengan spesifikasi ketelitian sistem yang dikehendaki. Hal ini dikarenakan kesulitan menemukan sumber panas yang dapat diatur kenaikan dan penurunan suhunya sebesar $0,1^{\circ}\text{C}$. Namun, seperti dapat dilihat pada Gambar 8, bahwa dengan rangkaian Jembatan *Wheatstone* dan pencocokan kurva dengan regresi polinomial orde-4,

maka kondisi linieritas sensor NTC terbukti dapat diperbaiki, sehingga memiliki koefisien determinasi (R^2) = 1 [1], [10]–[12]. Dengan kondisi tersebut, maka data pengujian temperatur dengan kenaikan atau penurunan 0,1°C dilakukan melalui Persamaan (3).

4.1. Hasil Pengujian Sistem tanpa Naracoba

Pengujian sistem termometer tanpa naracoba dilakukan dengan merangkai seluruh komponen dan modul, mencakup sensor suhu NTC W1209 10k yang telah dirangkai dengan rangkaian Jembatan *Wheatstone*, rangkaian penguat differensial *op-amp* IC-LM358, rangkaian kontroler Arduino Nano, dan komputer *laptop*. Dalam pengujian ini diukur suhu terukur pada termometer referensi (Tref1) dan suhu terukur pada termometer NTC W1209 10k (T-sistem).

Persamaan (3) digunakan dalam program modul Arduino Nano untuk menghitung suhu terukur berdasarkan tegangan *input* sistem yang berasal dari tegangan keluaran rangkaian penguat *op-amp* (V_o) dengan tegangan $V_{Full\ Scale}$ terukur sebesar 4,94 Volt (untuk persamaan (4)). Pencatatan ini dilakukan setiap terjadi perubahan suhu sebesar 1°C dari mulai suhu 27°C sampai dengan 48°C. Pengukuran setiap variabel tersebut dilakukan secara bersamaan untuk setiap perubahan suhu sebesar 1°C sebanyak tiga set pengujian, dimana satu set pengujian terdiri dari pengujian ketika suhu naik dan ketika suhu turun. Ketiga set pengujian ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian sistem termometer tanpa naracoba

Percobaan-1			Percobaan-2			Percobaan-3		
Tref1 [°C]	T-sistem [°C]		Tref1 [°C]	T-sistem [°C]		Tref1 [°C]	T-sistem [°C]	
	Naik	Turun		Naik	Turun		Naik	Turun
27,0	27,2	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
28,0	28,1	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0
30,0	30,1	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
31,0	30,9	31,0	31,0	31,0	30,9	31,0	31,0	31,0
32,0	32,0	32,0	32,0	32,1	32,0	32,1	32,1	32,1
33,0	33,1	33,0	33,0	33,0	33,1	33,0	33,0	33,0
34,0	34,3	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,2	34,2
35,0	35,3	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0
36,0	36,0	36,0	36,0	35,9	36,0	36,0	36,1	36,1
37,0	37,2	36,9	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0
38,0	38,1	38,0	38,0	38,0	38,0	38,0	38,0	38,0
39,0	39,1	39,1	39,0	39,0	39,0	39,0	38,9	39,1
40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	39,9	40,0
41,1	41,1	41,0	41,0	41,0	41,0	41,0	41,0	41,0
42,2	42,2	42,0	42,0	42,1	42,0	42,0	41,9	42,0
43,0	43,3	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	42,9	43,0
44,0	44,1	44,0	44,0	44,0	43,9	44,0	43,9	44,0
45,0	45,3	44,9	44,9	45,0	45,0	45,0	45,0	44,9
46,0	46,1	46,1	46,0	46,0	46,0	46,0	45,9	46,1
47,0	47,2	47,1	47,1	47,1	46,9	47,0	47,0	47,1
48,0	48,1	48,1	48,0	48,0	48,0	48,0	47,9	48,1

Setelah mendapatkan hasil pengukuran suhu dengan sistem termometer yang telah dibuat tanpa naracoba sebanyak tiga set pengujian, baik ketika suhu naik dan ketika suhu turun, maka dilakukan penghitungan nilai akurasi sistem. Hasil akurasi pengukuran suhu diperoleh bahwa nilai rata-rata akurasi suhu (\pm standar deviasi) sistem termometer berbasis sensor NTC yang telah diimplementasikan sebesar 0,05°C (\pm 0,03°C).

Dengan nilai akurasi yang didapatkan dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa perancangan sistem termometer dengan ketelitian $0,1^{\circ}\text{C}$ dapat tercapai.

4.2. Hasil Pengujian Sistem dengan Naracoba

Pengujian sistem termometer dengan naracoba menggunakan sensor suhu NTC W1209 10k dilakukan dengan mengukur suhu pada ketiak naracoba, dimana termometer referensi (Tref2) diletakkan di ketiak kanan dan termometer sensor NTC W1209 10k diletakkan di ketiak kiri. Pengujian ini dilakukan sebanyak tiga kali pengujian dengan durasi waktu pengukuran yang berbeda, yaitu 1 menit, 2 menit, dan 3 menit. Untuk setiap durasi waktu pengukuran, dilakukan pengukuran suhu sebanyak 30 kali pengujian. Pengukuran suhu dilakukan pada waktu bersamaan dengan meletakkan termometer sensor NTC pada ketiak kanan naracoba dan termometer referensi (Tref2) pada ketiak kiri.

Sebelum dilakukan pengujian sebanyak 30 kali, sistem dicoba terlebih dahulu untuk mengukur suhu naracoba sebanyak 10 kali pengujian untuk melihat akurasi sistem yang diperoleh. Dari hasil pengujian awal sistem pada naracoba, seperti ditunjukkan pada Tabel 2, dimana terlihat bahwa masih terdapat *error* absolut hasil pengukuran antara sistem termometer berbasis sensor NTC dengan termometer referensi.

Tabel 2. Hasil pengujian awal sistem pada naracoba

Termometer NTC [$^{\circ}\text{C}$]	Termometer Referensi [$^{\circ}\text{C}$]	Error Absolut Suhu [$^{\circ}\text{C}$]
38,2	37,1	1,1
37,5	36,3	1,2
36,9	36,5	0,4
38,5	37,2	1,3
37,1	36,1	1,0
38,7	37,5	1,2
37,1	36,4	0,7
37,0	36,2	0,8
37,9	37,0	0,9
37,8	36,6	1,2
38,2	37,1	1,1
Rata-Rata Akurasi [$^{\circ}\text{C}$]		1,0

Setelah data pengujian tersebut diolah, ternyata sistem memiliki *error* rata-rata sebesar 1°C . Termometer berbasis sensor NTC memiliki nilai suhu lebih besar terhadap termometer tubuh referensi (Tref2), sehingga program sistem harus dilakukan kalibrasi sesuai dengan faktor koreksi pada sistem termometer sensor NTC, yaitu hasil pengukuran suhu perlu dikurangi dengan 1°C sebelum ditampilkan pada *display*. Kalibrasi dilakukan dengan mengubah Persamaan (3) pada program modul mikrokontroler berbasis Arduino Nano menjadi Persamaan (5):

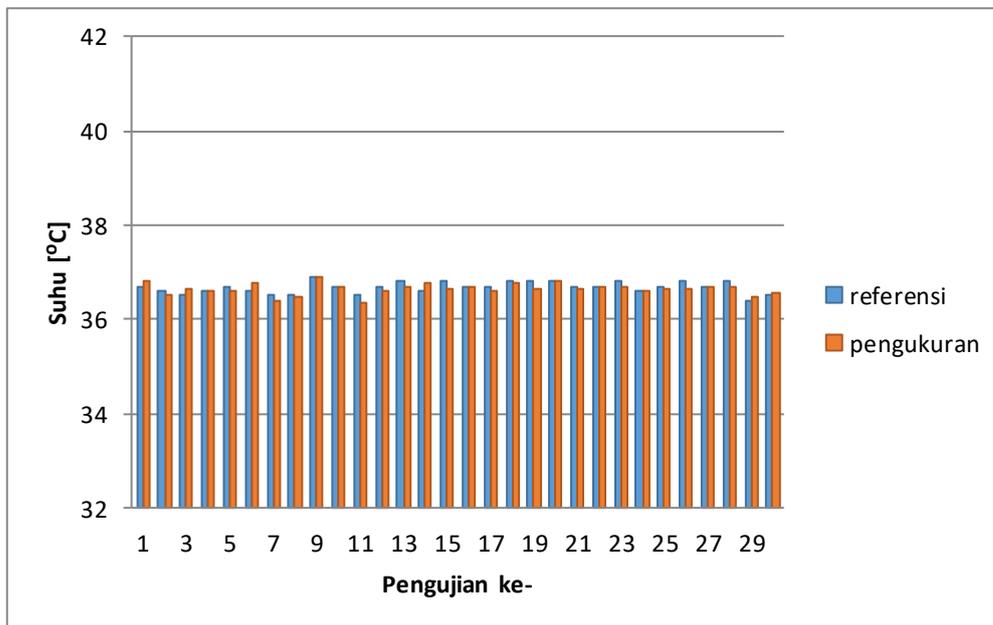
$$Suhu = \left(-0,2367 \cdot V_o^4 + 2,8347 \cdot V_o^3 - 11,594 \cdot V_o^2 + 29,328 \cdot V_o - 1,1766 \right) - 1 \quad (5)$$

Setelah dilakukan kalibrasi sistem sesuai dengan faktor koreksi, maka dilakukan pengujian sistem terhadap 10 orang naracoba untuk mendapatkan 30 kali data pengujian untuk masing-masing durasi waktu pengukuran yang berbeda, yaitu 1 menit, 2 menit, dan 3 menit. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, diperoleh bahwa termometer sensor NTC W1209 10k memiliki akurasi suhu maksimum sebesar $0,15^{\circ}\text{C}$ terhadap

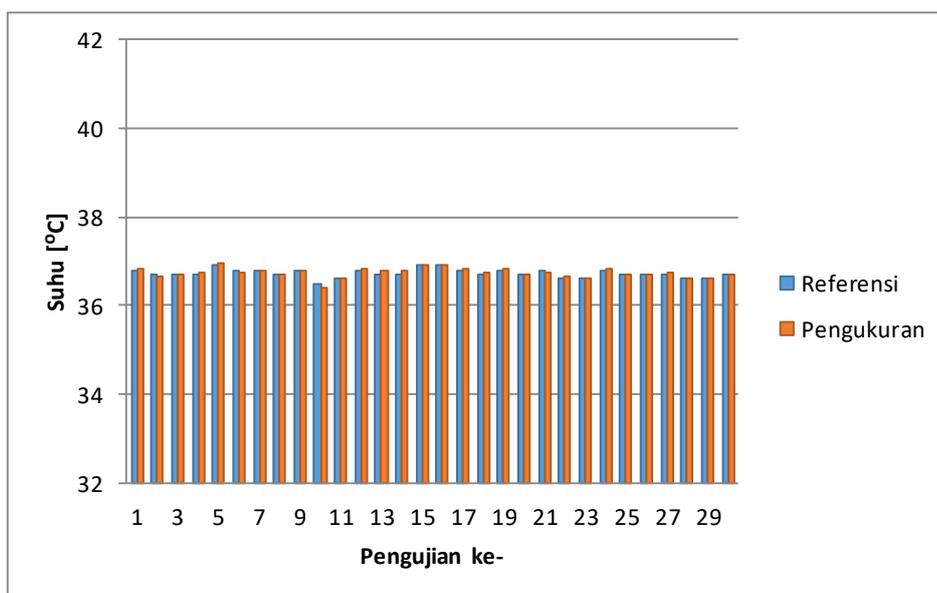
termometer referensi (Tref2), yaitu pada saat termometer sensor NTC diberikan durasi waktu pengukuran 1 menit. Namun secara rata-rata, akurasi pengukuran dari ketiga pengukuran dengan durasi waktu pengukuran 1 menit, 2 menit, dan 3 menit adalah di bawah $0,1^{\circ}\text{C}$, yaitu secara berturut-turut $0,07^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,06^{\circ}\text{C}$), $0,03^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,03^{\circ}\text{C}$), dan $0,05^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,03^{\circ}\text{C}$).

Selanjutnya, data hasil pengujian sistem terhadap naracoba dibuat ke dalam bentuk grafik perbandingan suhu referensi dengan suhu yang terukur, baik untuk pengukuran dengan durasi waktu pengukuran 1 menit, 2 menit, dan 3 menit, seperti yang ditunjukkan secara berturut-turut pada Gambar 10, Gambar 11, dan Gambar 12. Dari hasil rata-rata akurasi dan visualisasi pada grafik percobaan, dapat dianalisis bahwa durasi waktu pengukuran 2 menit memiliki nilai rata-rata akurasi mendekati nilai $0,03^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,03^{\circ}\text{C}$), sehingga durasi waktu pengukuran ini lebih tepat dipilih untuk sistem termometer berbasis sensor NTC. Pada durasi waktu pengukuran 1 menit, terdapat hasil akurasi yang melebihi nilai $0,1^{\circ}\text{C}$ sebagai spesifikasi ketelitian sistem. Untuk durasi waktu pengukuran 3 menit, nilai semua hasil pengukuran dan rata-rata akurasi memiliki nilai di bawah mencapai $0,1^{\circ}\text{C}$.

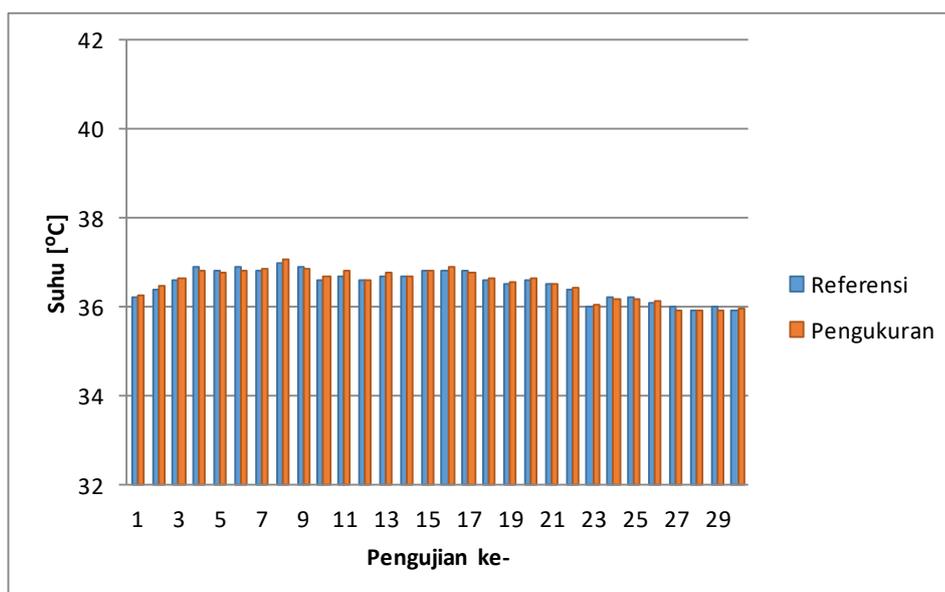
Namun, mengingat durasi waktu pengukuran 3 menit ini akan memberikan dampak pengukuran suhu yang lebih lama pada naracoba, maka durasi pengukuran 3 menit ini tidak dipilih atau digunakan pada sistem. Jika dilihat dari sisi hasil pengukuran dan durasi waktu pengukuran yang diberikan pada naracoba, maka durasi waktu pengukuran yang dipilih untuk digunakan pada program pengolahan data adalah durasi pengukuran 2 menit.



Gambar 10. Grafik perbandingan hasil pengukuran sensor NTC W1209 dengan hasil pengukuran termometer referensi dengan *delay* 1 menit



Gambar 11. Grafik perbandingan hasil pengukuran sensor NTC W1209 dengan hasil pengukuran termometer referensi dengan *delay* 2 menit



Gambar 12. Grafik perbandingan hasil pengukuran sensor NTC W1209 dengan hasil pengukuran termometer referensi dengan *delay* 3 menit

4.3. Pembahasan

Pada *paper* ini dilakukan evaluasi pada sensor NTC tipe W1209 10k sebagai sensor suhu pada termometer tubuh yang meliputi durasi dan akurasi pengukuran suhu. Alasan menggunakan sensor NTC tipe W1209 10k sebagai sensor termometer tubuh digital dikarenakan sensor tipe ini memiliki karakteristik resistansi yang dapat diaproksimasi dengan persamaan polynomial [14], dimensi yang relatif kecil dan kemasan yang relatif ergonomis untuk digunakan dengan aman dan nyaman, khususnya pada ketiak pasien.

Pengujian pengukuran suhu termometer yang diimplementasikan pada penelitian ini memang belum secara ideal dilakukan, dimana suhu yang digunakan untuk pengujian masih dalam perubahan suhu dengan kenaikan atau penurunan 1°C . Hal ini dikarenakan masih sulitnya menemukan media uji sebagai sumber panas yang dapat diatur kenaikan dan penurunan suhu sebesar $0,1^{\circ}\text{C}$. Namun, dari hasil pengujian terbukti bahwa komponen NTC yang dihubungkan dengan rangkaian Jembatan *Wheatstone* [1], [4], [7], [8], [10] dan rangkaian penguat differensial menunjukkan linieritas yang lebih baik. Hal ini ditunjukkan dengan nilai koefisien determinasi (R^2) = 1 setelah dilakukan pendekatan dengan persamaan regresi polinomial orde-4. Melalui persamaan polinomial ini dapat dilakukan perhitungan suhu dengan resolusi sebesar $0,1^{\circ}\text{C}$. Pendekatan kurva pada data suhu penelitian ini menggunakan orde yang lebih kecil dibandingkan dengan hasil penelitian dari Rachmat dan Ughi yang menggunakan regresi polinomial orde-7 [12]. Untuk mengetahui penyebab perbedaan orde regresi ini, perlu dilakukan pengujian lebih lanjut apakah diantaranya dikarenakan oleh jenis NTC, jumlah data uji suhu, ataupun komposisi resistansi yang digunakan pada rangkaian Jembatan *Wheatstone*. Namun, dengan konfigurasi penggunaan sebuah resistor $10\text{ k}\Omega$ dan dua buah resistor $5\text{ k}\Omega$, sensor NTC tipe ini dapat menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) yang relatif baik untuk suhu dari 27°C sampai dengan 48°C , dimana *range* suhu tubuh manusia sudah termasuk di dalamnya.

Penggunaan sensor NTC sebagai termometer tubuhpun tidak terlalu memerlukan waktu pengukuran yang lama ketika dilakukan pengukuran pada bagian ketiak. Pengujian menunjukkan bahwa dengan durasi waktu 2 menit, maka suhu tubuh manusia sudah dapat terukur oleh sensor. Walaupun durasi waktu ini lebih lama jika dibandingkan dengan termometer berbasis sensor *infrared*, seperti sensor MLX90614 yang dapat mengukur suhu dalam durasi detik [35], namun suhu terukur dari termometer berbasis sensor NTC sudah dapat digunakan sebagai informasi kedokteran untuk keperluan diagnosis medis kondisi pasien.

Termometer dengan sensor *infrared* ini banyak dijumpai pada alat termometer tembak (*thermogun*) dimana alat ini lebih cocok untuk proses *screening* kondisi suhu tubuh pasien, bukan untuk keperluan diagnosis suhu tubuh pasien [16], [19], [28]. Durasi waktu selama 2 menit untuk pengukuran suhu sama dengan Rachmat & Ughi. Selain itu, termometer referensi-2 (Tref2) merk OMRON model MC-246 menggunakan durasi 2 menit juga untuk mengukur suhu tubuh. Pada *paper* ini memang dilakukan pengujian secara bersamaan antara termometer NTC dengan termometer referensi. Hal ini untuk menghindari perbedaan suhu tubuh ketika dilakukan pengukuran suhu tubuh pada waktu yang berbeda dan ketidakstabilan suhu tubuh manusia akibat beberapa factor, yaitu jenis kelamin, usia, waktu pengukuran, indeks massa tubuh (BMI), etnis, dan fase menstruasi [36]. Pengujian termometer NTC hasil perancangan hanya dilakukan pada ketiak bagian kanan saja, dimana hal ini telah dibuktikan oleh penelitian Nurazizah dan rekan bahwa suhu tubuh pada ketiak kiri dan kanan memiliki nilai suhu yang hampir sama ketika dilakukan pengujian secara bersamaan [37]. Perlu diperhatikan juga masalah prosedur sterilisasi dari termometer ini dikarenakan jenis termometer yang bersifat kontak dengan tubuh pasien sehingga terhindar dari penyebaran suatu penyakit antar pasien [21].

Spesifikasi akurasi pengukuran suhu pada penelitian ini dapat tercapai di bawah $0,1^{\circ}\text{C}$ oleh termometer berbasis sensor NTC. Nilai akurasi ini sama dengan ketelitian termometer-termometer digital yang ada di pasaran ataupun nilai akurasi termometer berbentuk *smart thermometer (iFever)* [2]. Penelitian ini telah berhasil memperbaiki

termometer digital berbasis sensor NTC hasil penelitian Rachmat dan Ughi yang menghasilkan akurasi sebesar $0,4^{\circ}\text{C}$ [12] menjadi $0,1^{\circ}\text{C}$.

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa alat ukur suhu tubuh dengan menggunakan sensor NTC W1209 10k memang masih memiliki karakteristik nilai resistansi terhadap perubahan suhu yang tidak linear. Dari hasil pengujian awal sensor NTC yang dilakukan terhadap media air untuk *range* suhu dari 28°C sampai dengan 63°C , diperoleh nilai rata-rata resistansi dari $23\text{ k}\Omega$ ($\pm 0,02\text{ k}\Omega$) sampai dengan $9,1\text{ k}\Omega$ ($\pm 0,07\text{ k}\Omega$). Namun, ketidaklinieran tersebut dapat dimodifikasi dengan menambahkan beberapa rangkaian tambahan, salah satunya dengan menambahkan pengkondisi sinyal, seperti Jembatan *Wheatstone*. Agar mendapatkan R^2 yang lebih baik, maka hubungan karakteristik resistansi sensor NTC terhadap suhu, dilakukan pendekatan dengan persamaan regresi polinomial orde-4. Dari nilai pendekatan ini, diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) yang lebih baik, yaitu sebesar 1, untuk rentang suhu dari 27°C sampai dengan 48°C .

Durasi waktu pengukuran terbaik yang digunakan oleh termometer sensor NTC W1209 10k untuk melakukan pengukuran suhu adalah selama 2 menit. Hal ini berdasarkan hasil pengujian termometer terhadap naracoba dengan tiga kali perubahan durasi waktu pengukuran, baik dilihat dari durasi waktu pengukuran yang diberikan kepada naracoba maupun dari rata-rata akurasi pengukuran, yaitu $0,03^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,03^{\circ}\text{C}$). Sistem termometer berbasis sensor NTC W1209 10k ini memiliki nilai tingkat akurasi yang baik, yaitu di bawah $0,1^{\circ}\text{C}$. Hal ini ditunjukkan dengan selisih rata-rata antara nilai sensor NTC W1209 10k dengan kedua sensor suhu referensi, yaitu termometer makanan dan termometer suhu tubuh memiliki nilai akurasi rata-rata secara berturut-turut sebesar $0,05^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,03^{\circ}\text{C}$) dan $0,03^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,03^{\circ}\text{C}$).

Daftar Pustaka

- [1] T. Tamura, M. Huang, T. Togawa, "Current developments in wearable thermometers," *Adv. Biomed. Eng.*, 7, 88–99, 2018. Doi: 10.14326/abe.7.88.
- [2] W. Chen, "Thermometry and interpretation of body temperature," *Biomedical Engineering Letters*, 9, 1, 3–17, 2019. Doi: 10.1007/s13534-019-00102-2.
- [3] C. G. Scully *et al.*, "Skin surface temperature rhythms as potential circadian biomarkers for personalized chronotherapeutics in cancer patients," *Interface Focus*, 1, 1, 48–60, 2011. Doi: 10.1098/rsfs.2010.0012.
- [4] I.A. Kamil, O. Adegbenro, "A linearized thermometer circuit employing a thermistor and a diode as probing elements," *African J. Eng. Res.*, 1, 1, 101–105, 2003.
- [5] K. T. Aminu *et al.*, "NTC thermistor performance and linearization of its temperature-resistance characteristics using electronic circuit," *Int. J. Adv. Sci. Res. Eng.*, 06, 08, 35–49, 2020. Doi: 10.31695/ijasre.2020.33854.
- [6] S. S. Munifah, Wiendartun, A. Aminudin, "Design of temperature measuring instrument using NTC thermistor of Fe_2TiO_5 based on microcontroller ATmega 328," *J. Phys. Conf. Ser.*, 1280, 2, 2019. Doi: 10.1088/1742-6596/1280/2/022052.
- [7] K. T. Aminu *et al.*, "NTC thermistor performance and linearization of its temperature-resistance characteristics using electronic circuit," *Int. J. Adv. Sci. Res. Eng.*, 06, 08, 35–49, 2020. Doi: 10.31695/ijasre.2020.33854.

- [8] D. Zhang, M. J. Shi, L. L. Chen, S. J. Ding, "Designing of thermistor digital thermometer based on unbalanced electric bridge," *Key Eng. Mater.*, 538, 133–137, 2013. Doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.538.133.
- [9] K. Esenowo Jack, E. O. Nwangwu, I. Agwu Etu, E. U. Osuagwu, "A simple thermistor design for industrial temperature measurement," *IOSR J. Electr. Electron. Eng.*, 11, 05, 57–66, 2016. Doi: 10.9790/1676-1105035766.
- [10] D. J. Li, C. G. Xing, "Linearization of high precision human body temperature measurement circuit based on ntc thermistor," *Appl. Mech. Mater.*, 713–715, 381–384, 2015. Doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.713-715.381.
- [11] G. J. Lavenuta, "Negative Temperature Coefficient Thermistors," *www.qtisensing.com*, 2021. <http://192.186.232.200/sites/default/files/specsheets/Negative-Temperature-Coefficient-Thermistors.pdf> (accessed Jun. 10, 2021).
- [12] H. H. Rachmat, F. Ughi, "Pengembangan termometer suara bagi tuna netra berbasis mikrokontroler dengan sensor resistif," *J. Itenas Rekayasa*, 14, 2, 49–59, 2010.
- [13] Multan Electronics, "1M W1209 Temperature Sensor Probe Wire NTC," 2022. <https://www.multanelectronics.com/product/1m-thermistor-temperature-sensor-waterproof-probe-wire-ntc-10k/>
- [14] M. D. Ananda, H. H. Rachmat, "Evaluasi Karakteristik Resistansi Sensor NTC W1209 10K," *2021 Pros. Disem. FTI Gen.*, 0, 0, 1–10, 2021.
- [15] L. M. Adewale, T. S. Aina, A. Emmanuel, O. O. Akinte, "Smart digital thermometer for Covid-19 detection," *Int. J. Res. Eng. Sci.*, 10, 3, 16–20, 2022.
- [16] S. Khan *et al.*, "Comparative accuracy testing of non-contact infrared thermometers and temporal artery thermometers in an adult hospital setting," *Am. J. Infect. Control*, 49, 5, 597–602, 2021. Doi: 10.1016/j.ajic.2020.09.012.
- [17] E. Angelini, S. Grassini, M. Parvis, L. Parvis, A. Gori, "Body temperature measurement from the 17th century to the present days," *IEEE Med. Meas. Appl. MeMeA 2020 - Conf. Proc.*, 2020, doi: 10.1109/MeMeA49120.2020.9137339.
- [18] H. Anuar, P. L. Leow, "Non-invasive core body temperature sensor for continuous monitoring," *2019 IEEE Int. Conf. Sensors Nanotechnology, SENSORS NANO 2019*, pp. 1–4, 2019, doi: 10.1109/SENSORSNANO44414.2019.8940040.
- [19] A. Chen, J. Zhu, Q. Lin, W. Liu, "A comparative study of forehead temperature and core body temperature under varying ambient temperature conditions," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19, 23, 2022. Doi: 10.3390/ijerph192315883.
- [20] G. B. Dell'isola, E. Cosentini, L. Canale, G. Ficco, M. Dell'isola, "Noncontact body temperature measurement: Uncertainty evaluation and screening decision rule to prevent the spread of Covid-19," *Sensors (Switzerland)*, 21, 2, 1–20, 2021. Doi: 10.3390/s21020346.
- [21] P. Dolibog, B. Pietrzyk, K. Kierszniok, K. Pawlicki, "Comparative analysis of human body temperatures measured with noncontact and contact thermometers," *Healthc.*, 10, 2, 2022. Doi: 10.3390/healthcare10020331.
- [22] A. Dante, I. Franconi, A. R. Marucci, C. M. Alfes, L. Lancia, "Evaluating the Interchangeability of Forehead, Tympanic, and Axillary Thermometers in Italian Paediatric Clinical Settings: Results of a Multicentre Observational Study," *J. Pediatr. Nurs.*, 52, e21–e25, 2020. Doi: 10.1016/j.pedn.2019.11.014.
- [23] M. R. R. Akash, Yousuf, K. Shikder, "IoT Based Real Time Health Monitoring System," *Proc. Int. Conf. Res. Innov. Knowl. Manag. Technol. Appl. Bus. Sustain. INBUSH 2020*, pp. 167–171, 2020, doi: 10.1109/INBUSH46973.2020.9392163.

- [24] Alamsyah, M. Subito, A. Amir, "Design System Body Temperature and Blood Pressure Monitoring Based on Internet of Things," *2020 3rd Int. Conf. Inf. Commun. Technol. ICOIACT 2020*, pp. 276–279, 2020, doi: 10.1109/ICOIACT50329.2020.9331968.
- [25] M. M. Ali, S. Haxha, M. M. Alam, C. Nwibor, M. Sakel, "Design of internet of things (IoT) and android based low cost health monitoring embedded system wearable sensor for measuring SpO₂, heart rate and body temperature simultaneously," *Wirel. Pers. Commun.*, 111, 4, 2449–2463, 2020. Doi: 10.1007/s11277-019-06995-7.
- [26] M. A. Al-Sheikh, I. A. Ameen, "Design of mobile healthcare monitoring system using IoT technology and cloud computing," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, 881, 1, 2020. Doi: 10.1088/1757-899X/881/1/012113.
- [27] G. A. Alcoran-Alvarez, M. B. Garcia, D. U. Alvarez, "Automated social distancing gate with non-contact body temperature monitoring using Arduino Uno," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, 07, 07, 4351–4356, 2020 [Online]. Available: www.irjet.net
- [28] S. Blake *et al.*, "Evaluation of noninvasive thermometers in an endoscopy setting," *Gastroenterol. Nurs.*, 42, 2, 123–131, 2019. Doi: 10.1097/SGA.0000000000000367.
- [29] S. S. Munifah, Wiendartun, and A. Aminudin, "Design of temperature measuring instrument using NTC thermistor of Fe₂TiO₅ based on microcontroller ATmega 328," *J. Phys. Conf. Ser.*, 1280, 2, 0–7, 2019. Doi: 10.1088/1742-6596/1280/2/022052.
- [30] A. A. Khan, R. Sengupta, "A linear temperature/voltage converter using thermistor in logarithmic network," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 33, 1, 2–4, 1984. Doi: 10.1109/TIM.1984.4315140.
- [31] Arduino.cc, "Arduino Nano User Manual," 2023. <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf>
- [32] onsemi, "Single Supply Dual Operational Amplifiers," *www.onsemi.com*, 2023. <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/lm358-d.pdf>
- [33] Hanson-Technology, "TP101-Thermometer," 2022. <https://www.handsontec.com/dataspecs/Instruments/TP101-Thermometer.pdf>
- [34] Omron, "Termometer Omron MC-246," 2022. <https://www.galerimedika.com/termometer-alat-ukur-suhu-tubuh/termometer-omron-mc-246>
- [35] Melexis, "MLX90614 family," 2023. <https://www.melexis.com/-/media/files/documents/datasheets/mlx90614-datasheet-melexis.pdf>
- [36] A. Diamond, C. T. Lye, D. Prasad, D. Abbott, "One size does not fit all: Assuming the same normal body temperature for everyone is not justified," *PLoS One*, 16, 2, 1–13, 2021. Doi: 10.1371/journal.pone.0245257.
- [37] E. Nurazizah, M. Ramdhani, A. Rizal, "Rancang Bangun Termometer Digital Berbasis Sensor Ds18B20 Untuk Penyandang Tunanetra," *e-Proceeding Eng.*, 4, 3, 3294, 2017.

This Page Intentionally Left Blank