

## Rancang Bangun Thermopen Sebagai Pengukur Suhu Menggunakan Sensor DS18B20 Dalam Internet of Things

Ahyadhika Fahma Yudi Saputro\*, Dedy Ary Prasetya  
Program Studi Teknik Elektro – Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Surakarta, Indonesia  
\*adhikafahmays.98@gmail.com

**Abstract**— Temperature is a quantity that indicates the degree of heat of an object. Objects that have heat will show a higher temperature than objects when we touch them. This temperature measurement can use conventional tools such as a thermo gun and thermometer. In addition, temperature measurements can also use a thermopen with a DS18B20 sensor, the thermopen itself has a shape like a ballpoint pen, so it can make it easier for users to measure temperature. The temperature will be read by the DS18B20 sensor which has a fairly high level of accuracy, which is  $0.37^{\circ}\text{C}$  in a temperature range of  $33^{\circ}\text{C}$  to  $55^{\circ}\text{C}$ . The method used in the test begins with sensor calibration, then sensor displacement and heat on the sensor. Then the NODEMCU ESP8266 microcontroller will process the measurement data stored in the database. To make it easier for users to monitor, Internet of Things technology can be added. Internet of Things is used to access measurement data through smartphones. The final result of recording data can be displayed in the form of numbers or graphs on the smartphone. The difference in measurement results between the mercury thermometer and the thermopen has an average of  $0.375^{\circ}\text{C}$ . The time it takes the thermopen to read the temperature rise is  $0.006\text{ms}$ . While the time it takes the thermopen to read the temperature drop is  $0.014\text{ms}$ .

**Abstrak**— Suhu adalah suatu besaran yang menunjukkan derajat panas dari suatu benda. Benda yang memiliki panas akan menunjukkan suhu yang tinggi daripada benda dingin ketika kita menyentuhnya. Pengukuran suhu ini dapat menggunakan alat-alat konvensional seperti thermo gun dan thermometer. Selain itu, pengukuran suhu juga dapat menggunakan thermopen dengan sensor DS18B20, thermopen sendiri memiliki bentuk seperti bolpoin, sehingga dapat memudahkan pengguna untuk mengukur suhu. Suhu akan dibaca oleh sensor DS18B20 yang memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi, yaitu  $0,37^{\circ}\text{C}$  pada rentang suhu  $33^{\circ}\text{C}$  sampai  $55^{\circ}\text{C}$ . Metode yang digunakan dalam pengujian diawali dengan kalibrasi sensor, lalu respon sensor dan perpindahan kalor pada sensor. Kemudian mikrokontroler NODEMCU ESP8266 akan memproses data hasil pengukuran yang disimpan pada database. Agar memudahkan pengguna dalam memonitoring, dapat ditambahkan teknologi Internet of Things. Internet of Things digunakan untuk mengakses data hasil pengukuran melalui smartphone. Hasil akhir dari pencatatan data dapat ditampilkan dalam bentuk angka maupun grafik didalam smartphone. Selisih hasil pengukuran antara thermometer air raksa dan thermopen memiliki rata-rata  $0.375^{\circ}\text{C}$ . Waktu yang dibutuhkan thermopen untuk membaca kenaikan suhu adalah  $0.006\text{ms}$ . Sedangkan waktu yang dibutuhkan thermopen untuk membaca penurunan suhu adalah  $0.014\text{ms}$ .

**Kata Kunci**— Nodemcu Esp8266; Sensor Ds18b20; Thermopen; IoT; thermo gun

### I. PENDAHULUAN

Suhu adalah besaran yang menyatakan derajat panas dingin suatu benda dan alat yang digunakan untuk mengukur suhu adalah thermometer [1]. Pengukuran terhadap suhu tubuh manusia dilakukan dengan menggunakan termometer badan. Termometer badan yang tersedia saat ini ada dua jenis, yaitu termometer badan non digital

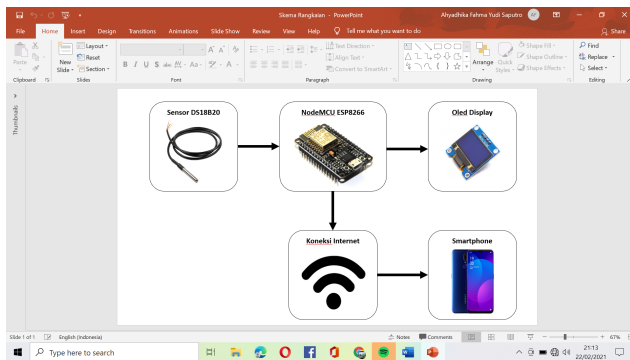
dan termometer badan digital [2]. Data hasil pengukuran tersebut dapat disimpan dan dapat diamati dalam bentuk grafik maupun angka. Salah satu sensor yang dapat digunakan untuk mengukur suhu adalah sensor DS18B20.

DS18B20 adalah sensor suhu digital seri terbaru dari Maxim IC. Sensor ini mampu membaca suhu dengan ketelitian 9 hingga 12-bit, rentang  $-50^{\circ}\text{C}$  sampai  $125^{\circ}\text{C}$  dengan ketelitian  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  [3–7]. Sensor suhu pada umumnya membutuhkan ADC dan beberapa pin port pada mikrokontroler, namun DS18B20 ini tidak membutuhkan ADC agar dapat berkomunikasi

**Naskah diterima** 19 Juli 2021, diterima setelah revisi 8 Agustus 2021, terbit online 25 Februari 2022. Emitor merupakan jurnal Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta yang terakreditasi Sinta 4 dengan alamat Gedung H Lantai 2 UMS, Jalan Ahmad Yani Tromol Pos 1 Surakarta Indonesia 57165.

kasi dengan mikrokontroler dan hanya membutuhkan 1 wire saja [8–10]. NodeMCU ESP8266 merupakan modul mikrokontroler yang didesain dengan ESP8266 didalamnya yang memiliki fungsi untuk konektivitas jaringan WiFi antara mikrokontroler itu sendiri dengan jaringan WiFi [11]. Hasil pengukuran kemudian akan ditampilkan pada Smartphone. Revolusi Industri 4.0 secara fundamental mengakibatkan berubahnya cara manusia berpikir, hidup, dan berhubungan satu dengan yang lain [12]. Konsep baru dalam industri 4.0 menyebabkan permintaan mengenai metode pemodelan canggih dan model referensi khusus [13–17]. Teknologi yang berkembang didalamnya salah satunya adalah Internet of Things. Tujuan akhir dari Internet of Things adalah untuk memperkenalkan plug and play teknologi yang menyediakan pengguna akhir, kemudahan pengoperasian, kontrol akses jarak jauh dan konfigurasi [18–20]. Perangkat Internet of Things yang digunakan adalah NODEMCU ESP8266. Data yang akan diakses menggunakan Internet of Things sebelumnya akan disimpan pada database cloud.

Rancang bangun thermopen pengukur suhu menggunakan sensor DS18B20 berbasis smartphone. Perancangan alat ini menggunakan sensor tunggal agar mendapatkan hasil akurasi yang tinggi karena akan ada suhu yang dihasilkan dari pengukuran suatu objek. Alat ini akan dikatakan memiliki akurasi tinggi saat hasil pengukurannya tidak berbeda jauh dengan alat ukur suhu konvensional.



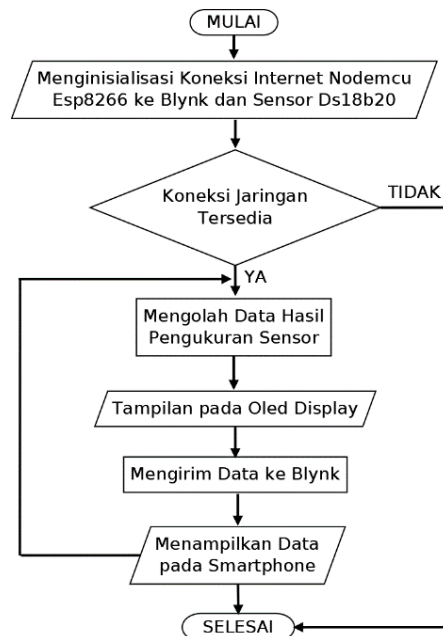
**Gambar 1:** Diagram Cara Kerja Sistem

## II. METODE PENELITIAN

### i. Perancangan Alat

Thermopen pengukur suhu menggunakan sensor DS18B20 mempunyai langkah kerja yang dapat dilihat pada Gambar 1. Alat yang digunakan adalah nodemcu ESP8266, Sensor DS18B20, Oled display, dan Smartphone. Nodemcu ESP8266 berfungsi untuk mengolah

data yang diperoleh dari sensor DS18B20. Oled display sebagai alat untuk menampilkan hasil pengolahan dari nodemcu DS18B20. WiFi digunakan untuk mengirim data dari hasil pengukuran ke smartphone, sehingga hasil dapat ditampilkan pada display smartphone menggunakan aplikasi blynk yang dapat didownload pada google playstore.

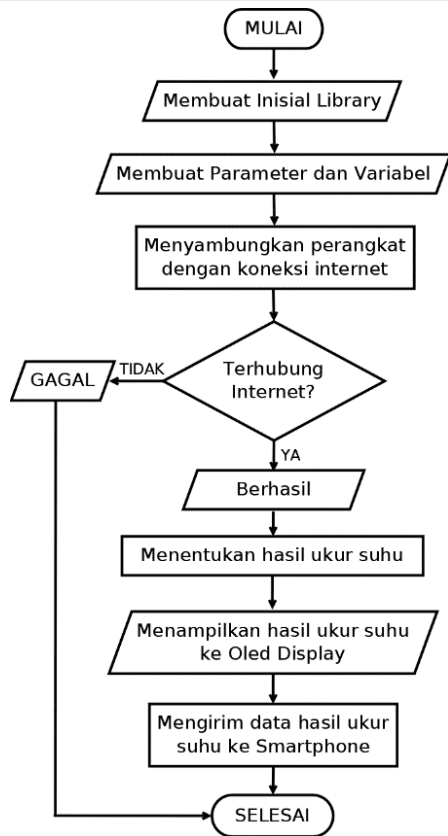


**Gambar 2:** Diagram Alir Kerja Sistem

Gambar 2 adalah diagram alir kerja sistem pada sensor suhu thermopen. Langkah pertama merupakan inisialisasi koneksi internet (WiFi) dari nodemcu esp8266 dan sensor suhu ds18b20. Pada saat sistem aktif, sensor ds18b20 akan bekerja dengan cara membaca suhu yang akan dikirimkan dan diolah pada nodemcu esp8266. Lalu hasil pengolahan akan ditampilkan pada Oled Display. Selain ditampilkan pada Oled Display. Hasil pengolahan juga dapat ditampilkan pada display smartphone apabila pengecekan koneksi internet antara nodemcu esp8266 dengan smartphone terkoneksi. Apabila tidak terkoneksi maka data tidak akan dapat ditampilkan pada display smartphone dengan diagram alir terlihat dalam Gambar 3.

### ii. Penyimpanan Data

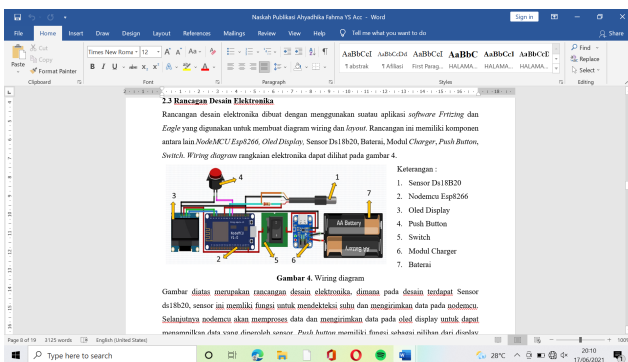
Selain untuk menampilkan hasil output, aplikasi blynk juga digunakan sebagai media penyimpanan data. Data dapat diperoleh dari hasil pengukuran sensor dan dapat langsung ditampilkan berupa grafik maupun angka. Sehingga dapat mempermudah memonitoring suhu dari jarak jauh.



Gambar 3: Diagram Alir Algoritma Program

iii. Rancangan Desain Elektronika

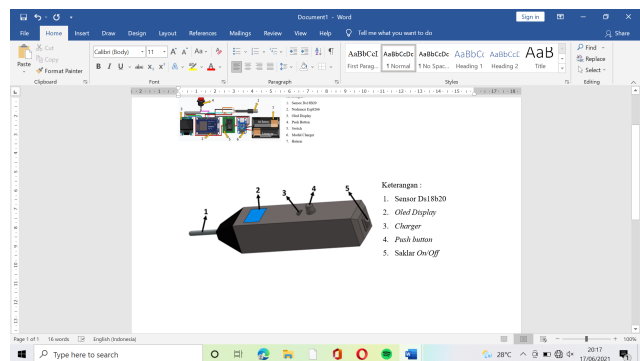
Rancangan desain elektronika dibuat dengan menggunakan suatu aplikasi software Fritzing dan Eagle yang digunakan untuk membuat Wiring diagram dan layout. Rancangan ini memiliki komponen antara lain Node-MCU Esp8266, Oled Display, Sensor Ds18b20, Baterai, Modul Charger, Push Button, Switch. Wiring diagram rangkaian elektronika dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4: Wiring Diagram

Gambar 4 merupakan rancangan desain elektronika, dimana pada desain terdapat sensor ds18b20, sensor ini memiliki fungsi untuk mendekteksi suhu dan mengirimkan data pada nodemcu. Selanjutnya nodemcu akan

memproses data dan mengirimkan data pada Oled display untuk dapat menampilkan data yang diperoleh sensor. Push button memiliki fungsi sebagai pilihan dari display yang ingin ditampilkan yaitu satuan celcius atau fahrenheit. Ketiga komponen utama ini akan dapat bekerja apabila mendapat catu daya sebesar 5 volt. Dimana catu daya ini dapat diperoleh dari baterai dan dapat dikontrol atau dikendalikan oleh switch. Switch memiliki fungsi untuk memutuskan dan menghubungkan daya, apabila daya yang dibutuhkan telah habis, maka dapat diisi ulang dengan menggunakan modul charger yang memiliki daya sama dengan baterai yaitu 5 volt.



Gambar 5: Desain Hardware

iv. Desain Thermopen

Desain thermopen dibuat menyerupai bolpoin agar mudah dalam penggunaannya dan dapat dibawa kemana kemana. Desain ini menggunakan bahan utama berupa akrilik yang mana akrilik ini memiliki beban yang tidak terlalu berat dibandingkan dengan besi maupun kayu. Apabila baterai pada thermopen ini habis, maka bisa diisi ulang kembali dengan mencharger. Juga terdapat tampilan display angka, tombol saklar, dan tombol pilihan untuk memilih jenis derajat yang diinginkan (Celcius/Fahrenheit). Selain itu thermopen ini berbasis Internet of Things, sehingga memudahkan penggunaannya untuk melihat suhu yang diinginkan. Desain thermopen dapat dilihat pada Gambar 5.

III. HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

i. Implementasi Alat

Thermopen dapat digunakan untuk mengukur suhu ruangan, seperti Gambar 6.

ii. Penyimpanan Data Aplikasi Blynk

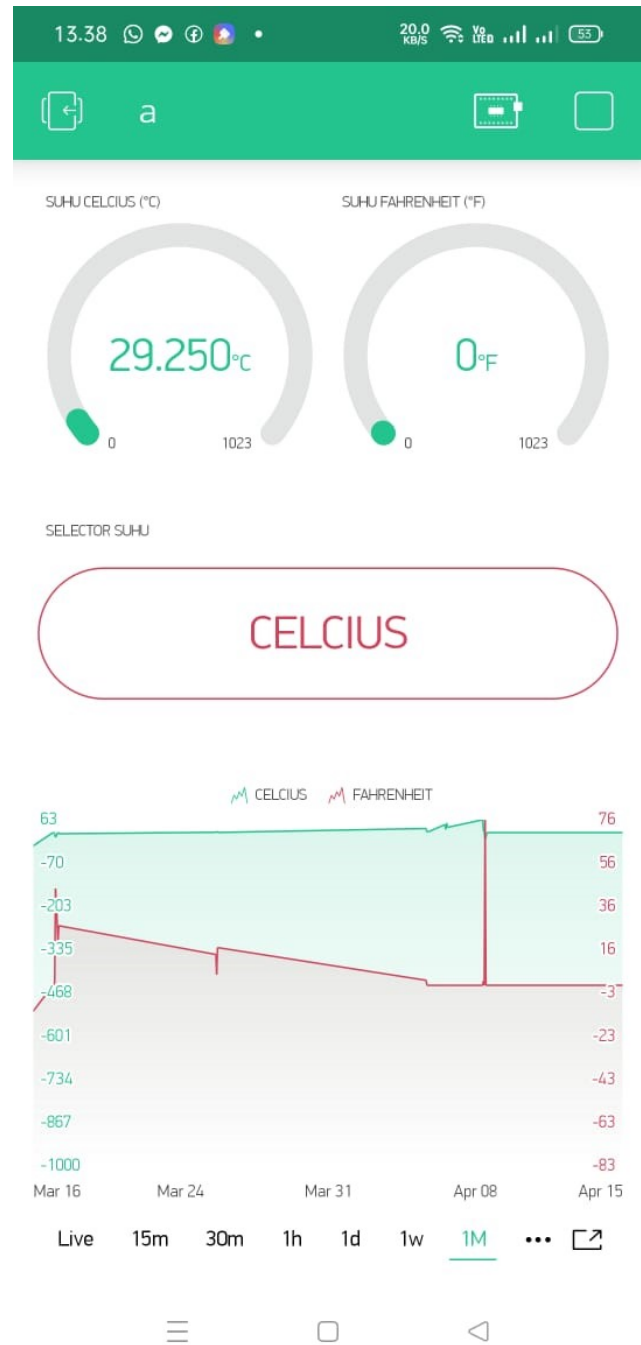
Aplikasi blynk merupakan suatu layanan aplikasi yang terdiri dari blynk app, blynk server dan blynk libraries,

ketiga library aplikasi ini memiliki fungsinya masing-masing. Blynk digunakan untuk mempermudah pekerjaan yang dapat di kendalikan dengan jarak jauh menggunakan smartphone. Aplikasi dapat digunakan pada android maupun ios. Selain itu aplikasi blynk tidak terikat dengan komponen atau chip manapun, namun harus mendukung board dengan memiliki akses WiFi untuk dapat berkomunikasi dengan hardware yang digunakan. Board adalah menu yang memiliki banyak tampilan widget yang biasa digunakan untuk menampilkan data berupa grafik, tabel, angka dll. Gambar 7 merupakan tampilan penyimpanan data aplikasi blynk pada smartphone.

Gambar 7 merupakan tampilan data yang diterima oleh pengguna melalui smartphone berbasis android menggunakan aplikasi blynk yang dapat diunduh melalui google play store. Aplikasi ini berfungsi untuk memudahkan pemantauan suhu dari tempat yang berbeda. Hasil Hardware Thermopen Terhubung IOT Perangkat keras thermopen ini menggunakan catu daya sebesar 5 volt yang diperoleh USB port pada komputer atau bisa juga dari baterai yang dapat diisi ulang ketika daya baterai mulai habis. Gambar 8 merupakan tampilan Hardware pada saat digunakan untuk pengambilan data.



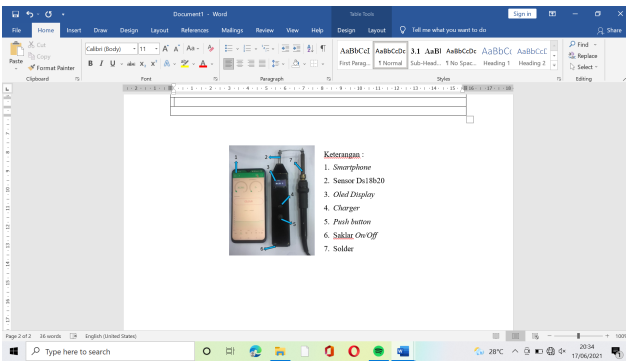
**Gambar 6:** Mengukur suhu ruangan panas



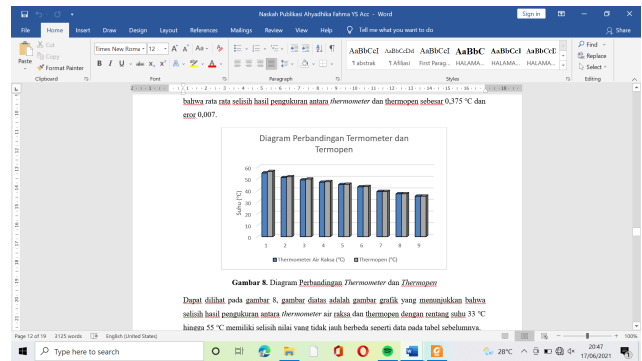
**Gambar 7:** Tampilan Penyimpanan Data Aplikasi Blynk pada Smartphone

### iii. Pengujian Kalibrasi Alat

Kalibrasi dilakukan untuk memastikan bahwa tingkat hasil pengukuran alat sudah akurat. Hasil pengukuran yang tidak akurat akan berdampak pada kualitas alat. Pengujian alat ini dilakukan dengan menggunakan metode konveksi dengan menggunakan alat ukur yang biasa digunakan yaitu thermometer air raksa dengan thermopen yang menggunakan sensor ds18b20. Proses kalibrasi ini menggunakan rentang suhu antara 55°C



**Gambar 8:** Hasil Hardware Thermopen Terhubung IoT



**Gambar 9:** Diagram Perbandingan Thermometer dan Thermopen

sampai 33°C yang akan menghasilkan selisih antara thermometer air raksa dengan thermopen. Selisih yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 1 menggunakan Persamaan 1.

$$\Delta = |n_U - n_S| \tag{1}$$

dengan  $\Delta$  adalah selisih yang terjadi dari nilai ukur  $n_U$  dengan nilai sensor  $n_S$ .

**Tabel 1:** Data Hasil Pengukuran Thermometer dan Thermopen

No.	Thermometer(°C)	Thermopen(°C)	Selisih	Error(%)
1	55	56,25	1,25	2
2	51	51,75	0,75	1
3	49	49,75	0,75	2
4	47	47,5	0,5	1
5	45	45,25	0,25	1
6	43	43,25	0,25	1
7	39	39	0	0
8	37	37	0	0
9	35	35	0	0
10	33	33	0	0

Dapat dilihat pada data Tabel 1, dengan rentang suhu 33°C hingga 55°C dapat diketahui bahwa rata-rata selisih hasil pengukuran antara thermometer dan thermopen sebesar 0,375°C dan error 0,007.

Dapat dilihat pada Gambar 9, yaitu gambar grafik yang menunjukkan bahwa selisih hasil pengukuran antara thermometer air raksa dan thermopen dengan rentang suhu 33°C hingga 55°C memiliki selisih nilai yang tidak jauh berbeda seperti data pada Tabel 1.

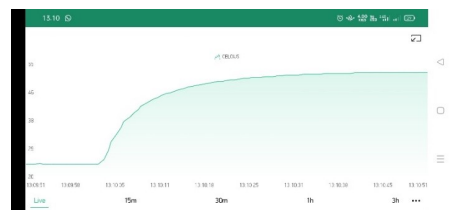
iv. *Penentuan Time Constant Sensor*

Penentuan time constant digunakan untuk mengetahui besar puncak dari suatu pengukuran. Time constant pada sistem yang mengalami kenaikan adalah pada saat waktu respon dari sistem sudah mencapai 63.2%

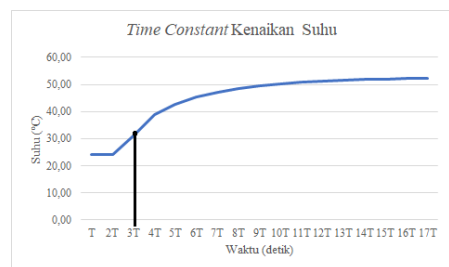
dari nilai puncak ( $K$ ). Sistem orde pertama merupakan respon pada sensor yang digunakan untuk menentukan time constant ( $\tau$ ). Untuk menentukan time constant dapat menggunakan rentang suhu 24°C sampai dengan 52.25°C sesuai dengan Persamaan 3.

$$c(t) = K \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \tag{2}$$

dengan  $c(t)$  adalah *step response* sistem orde pertama (*increase*),  $e$  adalah eksponensial (2.71828), dan  $t, T$  merupakan *time constant system*.



**Gambar 10:** Grafik Kenaikan Suhu Blynk

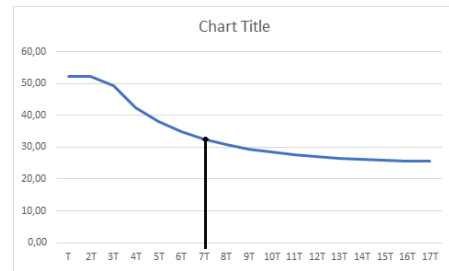


**Gambar 11:** Plot Grafik Sensor Kenaikan Suhu

dengan keterangan: \*Time Constant,  $T = 2$  detik. Tabel 2 merupakan hasil pembacaan sensor suhu berupa suhu dan waktu. *Time constant*,  $T = 2$  detik pada tabel diatas dapat dipilih sesuai keinginan. Sehingga step response system dapat diketahui bila diketahui  $K =$

**Tabel 2:** Data Waktu dan Suhu pada Proses Kenaikan Suhu

Waktu(detik)	Sensor( $^{\circ}\text{C}$ )
T	24,00
2T	24,00
3T	31,00*
4T	38,75
5T	42,75
6T	45,50
7T	47,25
8T	48,50
9T	49,50
10T	50,25
11T	50,75
12T	51,25
13T	51,50
14T	51,75
15T	52,00
16T	52,25
17T	52,25

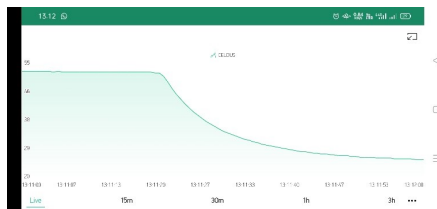
**Gambar 13:** Plot Grafik Sensor Penurunan Suhu

52,25 $^{\circ}\text{C}$  adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 c(t) &= K \times \left(1 - e^{\left(-\frac{t}{T}\right)}\right) \\
 &= 52,25 \times \left(1 - e^{(-1)}\right) \\
 &= 33,0^{\circ}\text{C} \equiv 31^{\circ}\text{C} = 6\text{detik} \\
 \tau &= T \times 1\text{ms} = 6 \times 1\text{ms} = 0,006\text{ms}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

**Tabel 3:** Time Constant Kenaikan Suhu

	K( $^{\circ}\text{C}$ )	c(t)	Time Constant(ms)
Sensor	52,25	31,00 $\approx$ 33,03	0,006

**Gambar 12:** Grafik Penurunan Suhu Blynk

dengan \*time constant,  $T = 2$  detik. Tabel 5 merupakan hasil pembacaan sensor suhu berupa suhu dan waktu. Time constant,  $T = 2$  detik pada Tabel 5 dapat dipilih sesuai keinginan. Sehingga step response system dengan pengerjaan seperti halnya dalam Persamaan 3.

**Tabel 4:** Data Waktu dan Suhu pada Proses Kenaikan Suhu

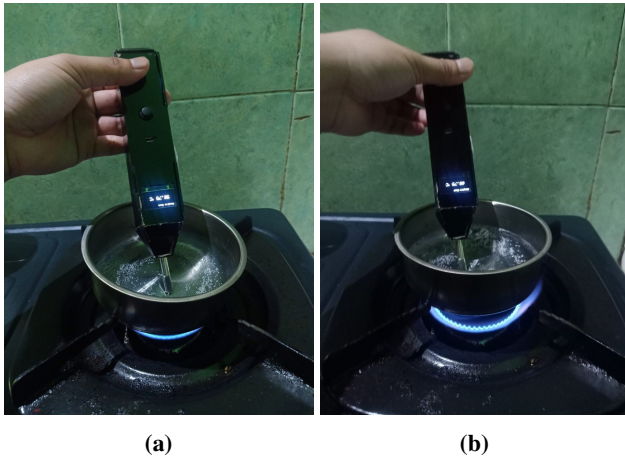
Waktu(detik)	Sensor( $^{\circ}\text{C}$ )
T	52,25
2T	52,25
3T	49,25
4T	42,50
5T	38,00
6T	34,75
7T	32,50*
8T	30,75
9T	29,50
10T	28,50
11T	27,75
12T	27,00
13T	26,50
14T	26,25
15T	26,00
16T	25,75
17T	25,50

**Tabel 5:** Time Constant Penurunan Suhu

	K( $^{\circ}\text{C}$ )	c(t)	Time Constant(ms)
Sensor	52,50	33,19 $\approx$ 32,50	0,014

v. *Pengukuran Perubahan Panas Air*

Pengukuran perubahan panas air dilakukan dengan cara mengukur suhu air dalam waktu 1 menit, dengan suhu awal air yang sama dan juga menggunakan volume air yang sama, yaitu 150ml. Untuk melihat hasil perubahan suhu, dapat diperoleh dengan cara membandingkan air yang akan diukur suhunya dengan api yang dinyalakan. Api yang nyalakan adalah api besar dan api kecil yang dapat dilihat pada Gambar 14 (a) dan 14 (b).



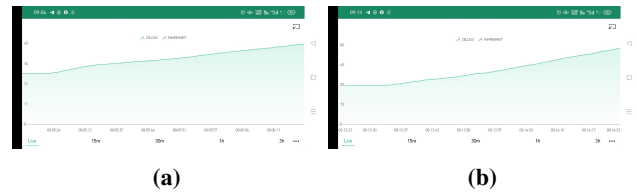
**Gambar 14:** Pengukuran Perubahan Panas Air (a) dengan Api Kecil (b) dengan Api Besar

**Tabel 6:** Hasil Perubahan Suhu

No.	Api Kecil(°C)	Api Besar(°C)
1	29,25	29,25
2	32,50	31,75
3	34,00	34,50
4	35,25	37,50
5	36,75	40,50
6	38,75	44,75
7	40,75	49,00
8	42,50	53,00
9	44,50	57,25
10	46,25	61,25
11	49,00	65,00

Hasil pengujian perbandingan pada pengukuran perubahan panas air dengan menggunakan api kecil dan api besar dapat dilihat pada Tabel 6. Tabel 6 membuktikan bahwa perubahan kenaikan suhu dengan api besar akan menghasilkan suhu yang lebih tinggi dari pada menggunakan api kecil. Selanjutnya dapat dilihat hasil dari grafik yang dihasilkan oleh aplikasi blynk pada Gambar 14 (a) dan Gambar 14 (b).

Grafik Gambar 15 (a) dan Gambar 15 (b) merupakan



**Gambar 15:** Hasil Grafik Pengukuran Perubahan Panas Air (a) dengan Api Kecil (b) dengan Api Besar

an hasil grafik pengukuran perubahan panas air dengan api kecil dan hasil grafik pengukuran perubahan panas air dengan api besar. Hasil dari grafik ini menunjukkan bahwa dalam waktu yang sama, yaitu 1 menit, volume air yang sama yaitu 150 ml dan suhu mula air yang sama 29,25°C. Dapat dilihat hasil pengukuran perubahan panas air dengan api besar memiliki perubahan suhu yang lebih tinggi, yaitu 65 °C dari pada hasil pengukuran perubahan panas air dengan api kecil, yaitu 49°C.

**IV. KESIMPULAN**

Thermopen adalah alat pengukur suhu berbasis Internet of Things yang memiliki fungsi untuk memonitoring temperature pada suatu objek dan benda. Thermopen ini menggunakan Nodemcu Esp8266, Sensor Ds18b20, Oled Display, aplikasi Blynk, Smartphone. Selisih hasil pengukuran antara thermometer air raksa dan thermopen memiliki rata rata 0.375°C. Waktu yang dibutuhkan Thermopen untuk membaca kenaikan suhu adalah 0.006 ms. Sedangkan waktu yang dibutuhkan Thermopen untuk membaca penurunan suhu adalah 0.014 ms. Hasil pengukuran perubahan panas air dengan api besar memiliki suhu yang lebih tinggi, yaitu 65°C dari pada hasil pengukuran perubahan panas air dengan api kecil, yaitu 49°C. Thermopen memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi, yaitu 0,37°C pada rentang suhu 33°C sampai 55°C.

**DAFTAR PUSTAKA**

[1] S. Indarwati, S. M. B. Respati, dan D. Darmanto, “Kebutuhan daya pada air conditioner saat terjadi perbedaan suhu dan kelembaban,” *Majalah Ilmiah MOMENTUM*, vol. 15, no. 1, 2019.

[2] M. Wartono, B. Puruhito, dan A. Adrianto, “Kesesuaian termometer inframerah dengan termometer air raksa terhadap pengukuran suhu aksila pada usia dewasa muda (18-22 tahun),” *DIPONEGORO MEDICAL JOURNAL (JURNAL KE-DOKTERAN DIPONEGORO)*, vol. 7, no. 2, pp. 1520–1529, 2018.

[3] X. Zhao, W. Li, L. Zhou, G. Song, Q. Ba, S. C. M. Ho, dan J. Ou, “Application of support vector machine for pattern

- classification of active thermometry-based pipeline scour monitoring,” *Structural Control and Health Monitoring*, vol. 22, no. 6, pp. 903–918, 2015.
- [4] W. Li, H. Xiang, T. Liu, dan D. Zou, “Research on active thermal based distributed fiber optic temperature sensing for leakage detection in water pipeline,” in *Earth and Space 2021*, 2021, pp. 352–358.
- [5] W. Li, T. Liu, dan H. Xiang, “Leakage detection of water pipelines based on active thermometry and fbg based quasi-distributed fiber optic temperature sensing,” *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, vol. 32, no. 15, pp. 1744–1755, 2021.
- [6] M. Syakur, B. K. Khotimah, E. S. Rochman, dan B. Sato, “Using k-means algorithm and fp-growth base on fp-tree structure for recommendation customer sme,” *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 96, no. 4, pp. 1102–1113, 2018.
- [7] S. Budijono *et al.*, “Smart temperature monitoring system using esp32 and ds18b20,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 794, no. 1. IOP Publishing, 2021, p. 012125.
- [8] E. Nurazizah, M. Ramdhani, dan A. Rizal, “Rancang bangun termometer digital berbasis sensor ds18b20 untuk penyandang tunanetra,” *eProceedings of Engineering*, vol. 4, no. 3, 2017.
- [9] D. Ramdani, “Rancang bangun sistem otomatisasi suhu dan monitoring ph air aquascape berbasis iot (internet of thing) menggunakan nodemcu esp8266 pada aplikasi telegram,” *INISTA: Journal of Informatics, Information System, Software Engineering and Applications*, vol. 3, no. 1, pp. 59–68, 2020.
- [10] A. N. Ngabi, J. Tarigan, dan A. Warsito, “Rancang bangun alat pemantau kondisi kesehatan pada tubuh manusia menggunakan mikrokontroler berbasis komunikasi bluetooth hc-05,” in *Seminar Nasional Ilmu Fisika dan Terapannya*, vol. 1, no. 1, 2021, pp. 95–101.
- [11] A. D. Pangestu, F. Ardianto, dan B. Alfaresi, “Sistem monitoring beban listrik berbasis arduino nodemcu esp8266,” *Jurnal Ampere*, vol. 4, no. 1, pp. 187–197, 2019.
- [12] B. Prasetyo dan U. Trisyanti, “Revolusi industri 4.0 dan tantangan perubahan sosial,” *IPTEK Journal of Proceedings Series*, no. 5, pp. 22–27, 2018.
- [13] M. Ghobakhloo, “Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability,” *Journal of cleaner production*, vol. 252, p. 119869, 2020.
- [14] M. Sony dan S. Naik, “Key ingredients for evaluating industry 4.0 readiness for organizations: a literature review,” *Benchmarking: An International Journal*, 2019.
- [15] A. Raj, G. Dwivedi, A. Sharma, A. B. L. de Sousa Jabbour, dan S. Rajak, “Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective,” *International Journal of Production Economics*, vol. 224, p. 107546, 2020.
- [16] A. G. Frank, L. S. Dalenogare, dan N. F. Ayala, “Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies,” *International Journal of Production Economics*, vol. 210, pp. 15–26, 2019.
- [17] I. Castelo-Branco, F. Cruz-Jesus, dan T. Oliveira, “Assessing industry 4.0 readiness in manufacturing: Evidence for the european union,” *Computers in Industry*, vol. 107, pp. 22–32, 2019.
- [18] K. Shafique, B. A. Khawaja, F. Sabir, S. Qazi, dan M. Mustaqim, “Internet of things (iot) for next-generation smart systems: A review of current challenges, future trends and prospects for emerging 5g-iot scenarios,” *Ieee Access*, vol. 8, pp. 23 022–23 040, 2020.
- [19] W. H. Hassan *et al.*, “Current research on internet of things (iot) security: A survey,” *Computer networks*, vol. 148, pp. 283–294, 2019.
- [20] M. U. Farooq, M. Waseem, S. Mazhar, A. Khairi, dan T. Kamal, “A review on internet of things (iot),” *International journal of computer applications*, vol. 113, no. 1, pp. 1–7, 2015.