

Perancangan Sistem Pengukuran Temperatur Air sebagai Sistem *Monitoring* Temperatur *Boiler* Menggunakan NTC 3950

YORDA AGNAR MAGASKI, SABAT ANWARI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL BANDUNG
email :yordagnarm@gmail.com

Received 11 04 2021 | Revised 14 01 2022 | Accepted 25 01 2022

ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang sensor NTC yang diperlukan untuk perancangan sistem temperatur pada *boiler* dengan *range* temperatur yang diperlukan yaitu dari 28°C sampai 100°C. Temperatur pada sensor NTC tergantung pada ketahanan panas dari media sekitarnya. Sensor NTC dianalisis dengan cara menurunkan nilai resistansi pada NTC itu sendiri. Rangkaian *driver voltage divider* dan jembatan Wheatstone keduanya merupakan rangkaian yang dapat mengkonversi perubahan resistansi menjadi tegangan dengan nilai maksimal 4,358 volt untuk *voltage divider* dan 4,38 volt untuk Wheatstone dengan perubahan tegangan ± 5 mV untuk setiap perubahan temperatur setiap 1°C. Rangkaian pemkondisi sinyal diperlukan untuk mengubah tegangan menjadi besaran yang dapat diolah oleh pengendali menggunakan LM324 dan LM325 sebagai rangkaian buffer dan amplifier differensial. Pengujian presisi dan akurasi dengan pendekatan standar deviasi ($S\theta$) dan ketidakpastian (uncertainty) akan menentukan seberapa baik sistem berkerja dengan cara membandingkan output kedua rangkaian driver dengan sistem pengukuran referensi. Dari hasil pengujian akan didapatkan presisi nilai standar deviasi $S\theta = 0,182$ dan Akurasi maksimal = 0,88 pada pengujian temperatur dari 28°C sampai 100°C.

Kata kunci : Boiler, NTC, Temperatur, Monitoring , Pengukuran

ABSTRACT

This study discusses the NTC sensor needed for the design of the temperature system in the boiler with the required temperature range from 28°C to 100°C. The temperature on the NTC sensor depends on the heat resistance of the surrounding medium. The NTC sensor is analyzed by lowering the resistance value on the NTC itself. The voltage divider driver circuit and the Wheatstone bridge are both circuits that can convert resistance changes to voltage with a maximum value of 4.358 volts for the voltage divider and 4.38 volts for Wheatstone with a voltage change of +5 mV for every 1°C temperature change. The signal conditioning is needed to convert the voltage into a quantity that can be processed by the controller using LM324 and LM325 as a series of buffers and differential amplifiers. Testing precision and accuracy with the standard deviation ($S\theta$) and uncertainty (uncertainty) approach will determine how well the system works by comparing the output of the two driver circuits with the reference measurement system. From the test results, the precision standard deviation value $S\theta = 0.182$ and maximum accuracy = 0.88 will be obtained at the temperature test from 28°C to 100°C.

Keywords: *ultrasonic, infrared, microcontroller, Arduino, acquisition*

1. PENDAHULUAN

Sensor temperatur NTC merupakan elemen penginderaan temperatur yang terdiri dari bahan semikonduktor yang menunjukkan perubahan nilai tahanan jika temperatur yang mengenai sensor temperatur NTC ini berubah. Dalam keadaan selfheated, karakteristik dari sensor temperatur NTC ini dijelaskan oleh model arus tegangan dalam keadaan termal konstan di udara (Kho, 2002). Jika pemberian tegangan konstan, daya listrik melalui sensor temperatur ini adalah sama dengan kalor yang dibuang dari permukaan sensor ke lingkungannya (Hodes, 2004). Temperatur pada sensor temperatur NTC bergantung pada tahanan termal dari medium di sekitarnya. Sensor NTC dianalisa dengan turunnya nilai resistansi pada NTC itu sendiri sehingga dalam pembacaan data nilai resistansi yang turun pada NTC harus di konversikan menjadi nilai tegangan agar keluaran dapat dimengerti oleh pengendali (*Controller*).

Dalam bidang industri sensor NTC digunakan untuk berbagai macam kebutuhan dalam bentuk pengaplikasian yang berhubungan dengan temperatur. Sensor NTC pada umumnya memiliki jarak pengukuran dari -80°C sampai 150°C dengan range yang tidak terlalu besar maka NTC akan sangat kompatibel digunakan untuk sensor temperatur pada boiler dengan skala home industry. NTC memiliki banyak kegunaan untuk pengukuran dan pengukuran dalam temperatur. NTC memiliki karakteristik yang tidak linier tetapi masih bisa menunjukkan nilai yang sangat akurat. Ketidak linieran dari karakteristik tersebut masih bisa dimodifikasi dengan menambahkan beberapa rangkaian tambahan (Lavenuta, 1997). Sensor NTC memiliki output yang tidak linier dalam *range* temperatur $28^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$ yang merupakan suatu tantangan dalam merealisasi sistem pengukuran temperatur untuk boiler. Dalam penelitian ini NTC 3950 10K akan digunakan sebagai sensor temperatur pada sistem pengukuran temperatur dikarenakan banyaknya jumlah yang tersedia pada pasar dan harga yang relatif murah, maka dari itu sistem pengukuran temperatur yang dirancang akan jauh lebih murah dibandingkan dengan thermostat atau sistem pengukuran temperatur lainnya yang dirancang untuk boiler pada skala home industri yang tersedia di pasar saat ini (Albert, 2007).

Sensor NTC memiliki output yang tidak linier dalam range temperatur $28^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$. NTC memiliki banyak jenis seperti 3950 10K, 3950 100K, dan NTC 3420 2K. Dalam penelitian ini NTC 3950 10K akan digunakan sebagai sensor temperatur pada sistem pengukuran temperatur dikarenakan banyaknya jumlah yang tersedia pada pasar dan harga yang relatif murah, maka dari itu sistem pengukuran temperatur yang dirancang akan jauh lebih murah dibandingkan dengan thermostat atau sistem pengukuran temperatur lainnya yang dirancang untuk boiler pada skala home industri yang tersedia di pasar saat ini. Dengan itu didapatkan ide untuk menciptakan suatu sistem pengukuran temperatur menggunakan NTC 3950. Diharapkan dengan adanya penelitian ini maka dapat merancang suatu sistem pengukuran yang diintegrasikan pada boiler dengan kebutuhan pengukuran air dimulai dari $28^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$ untuk setiap pembacaan kenaikan 1°C . Untuk merancang sistem pengukuran yang diinginkan maka karakteristik dari NTC akan diteliti pada rentan temperatur yang dibutuhkan pada boiler. Untuk mengetahui seberapa baik sistem dapat berkerja dapat ditentukan melalui tingkat ketelitian yang dihasilkan oleh NTC 3950.

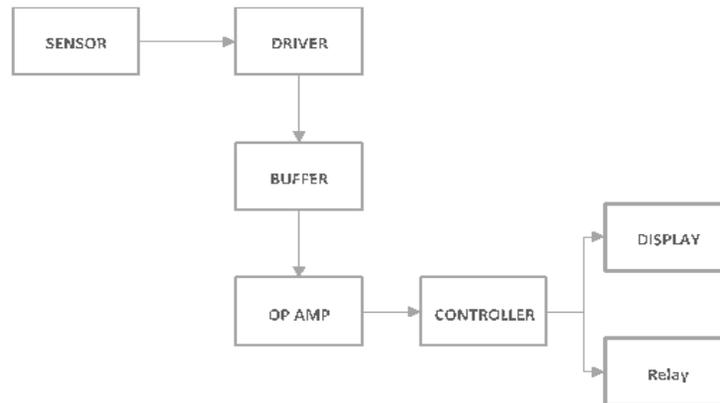
2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Perancangan Sistem

Untuk mengevaluasi pembacaan optimal NTC, pada penelitian ini, NTC diimplementasikan pada sistem pengukuran dan monitoring untuk boiler yang digambarkan dalam bentuk diagram blok seperti terlihat Gambar 1. Secara umum, sistem ini berfungsi untuk memonitoring temperatur pada suatu cairan yang dipanaskan oleh boiler. Pemanas air (electrical kettle) digunakan

Perancangan Sistem Pengukuran Temperatur Air sebagai Sistem
Monitoring Temperatur *Boiler* Menggunakan NTC 3950

untuk menggantikan boiler sebagai medium pemanas. Ketika sistem membaca temperatur yang telah ditentukan maka dengan otomatis pemanas akan berhenti berkerja karena relay yang terhubung pada pemanas akan memutuskan arus listrik yang terhubung pada heater. Sistem pengukuran dan monitoring temperatur ini terbagi menjadi dua bagian yaitu perangkat keras dan perangkat lunak.



Gambar 1. Diagram blok sistem pengukuran dan *monitoring* temperatur

Perangkat keras sistem ini terdiri dari sensor NTC 3950, rangkaian driver (rangkaiannya voltage divider dan rangkaian jembatan Wheatstone), rangkaian pengkondisi sinyal, controller, relay dan LCD monitor. Pada sistem ini diimplementasikan dua buah perangkat lunak yaitu perangkat lunak pada rangkaian voltage divider dan rangkaian jembatan Wheatstone. Dalam perancangan dan realisasi sistem pengukuran temperature dilakukan beberapa pengujian nilai pembacaan temperature nilai presisi dan nilai akurasi pada sistem. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik NTC 3950 10K sebagai sensor pada pengukuran temperature dengan parameter temperatur, presisi dan akurasi pengukuran temperatur.

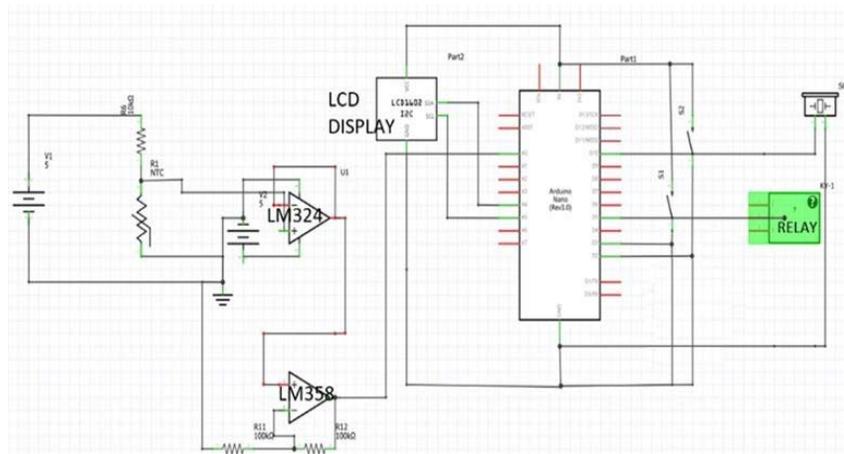
2.1. Perancangan Perangkat Keras

Pada perancangan perangkat keras perancangan akan dibagi dua yaitu perancangan sistem pengukuran menggunakan rangkaian voltage divider dan sistem pengukuran menggunakan rangkaian jembatan Wheatstone. Karena kedua rangkaian driver memiliki karakteristik yang berbeda maka setiap rangkaian driver memiliki rangkaian pengkondisi sinyal yang berbeda juga.

2.1.A. Perancangan Sistem Menggunakan Rangkaian Voltage divider

Nilai perubahan resistansi pada ntc atau nilai output pada sensor akan dikonversikan dalam besaran tegangan (voltage) oleh rangkaian driver salah satunya adalah rangkaian voltage divider. Output dari voltage divider akan memasuki rangkaian buffer untuk meminimalisir efek pembebanan yang terjadi pada rangkaian driver. Untuk mendapatkan ketelitian yang baik maka nilai tegangan keluaran pada rangkaian buffer akan terhubung dengan rangkaian penguat non inverting yang akan memberikan kenaikan 2 kali dari tegangan input yang dirancang dari IC LM324 yang dicatu oleh power supply 12V. Tegangan yang telah diamplifikasi akan terhubung dengan microcontroller Arduino Uno. Setiap temperatur yang terukur oleh NTC akan diolah oleh pengendali sehingga besaran fisis tegangan dikonversi menjadi besaran temperatur celcius ($^{\circ}\text{C}$). Bila setiap rangkaian sensor telah terhubung maka komponen – komponen pendukung dapat dirangkai. Komponen pendukung terdiri dari Display LCD, 2 Buah push button dan sebuah Relay. Setiap komponen pendukung akan dihubungkan pada microcontroller sesuai pada skematik Gambar 2 maka dengan demikian perangkat keras

rangkaian sistem pengukuran dan monitoring dengan rangkaian voltage divider temperatur yang telah dirancang.

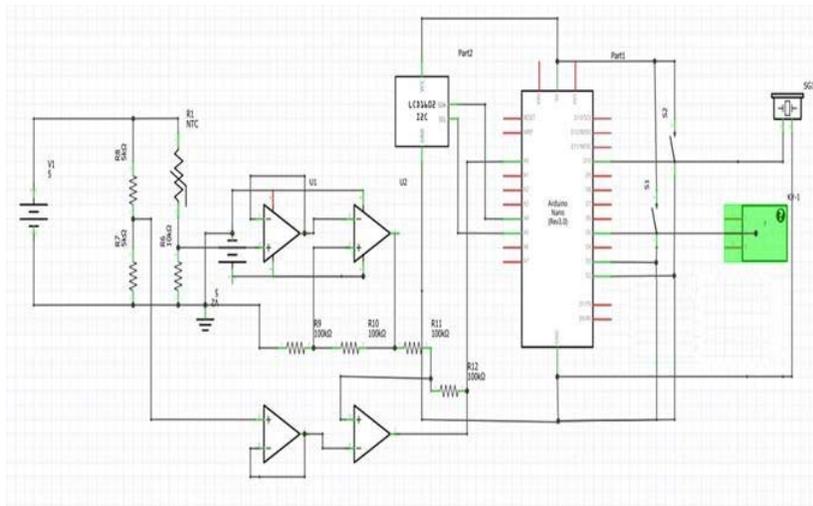


Gambar 2. Rangkaian Sistem Pengukuran Dengan Rangkaian Voltage divider dan Monitoring Temperatur

2.1.A. Perancangan Sistem Menggunakan Rangkaian Voltage divider

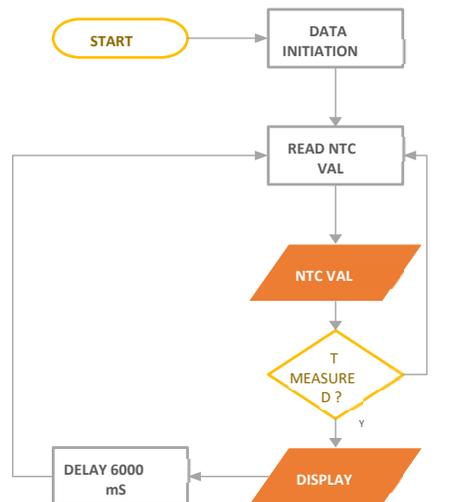
Pada perancangan sensor temperatur menggunakan jembatan Wheatstone pemilihan nilai resistansi pada rangkaian Jembatan Wheatstone sangat berpengaruh kepada perubahan nilai tegangan pada output rangkaian driver. Pada sistem ini dirancang untuk mendapatkan nilai output sebesar 5 mV ketika terdapat kenaikan temperatur 1°C. Hal ini sesuai dengan nilai resolusi tegangan ADC 10 bit pengendali dengan tegangan referensi 5 Volt, di mana setiap perubahan tegangan 5 mV maka bit digital akan berubah sebesar 1 bit. Untuk mendapatkan spesifikasi tegangan tersebut maka dipilih nilai-nilai resistansi $R1 = 10k\Omega$, $R3 = 5k\Omega$ dan $R5 = 5k\Omega$ pada rangkaian Jembatan Wheatstone. Rangkaian jembatan Wheatstone akan memasuki rangkaian differensial dengan besar gain senilai 2 kali kenaikan dan terhubung dengan rangkaian buffer untuk mengurangi efek pembebanan pada rangkaian penguat. Penguatan tegangan 2 kali dari tegangan input dibutuhkan karena nilai keluaran dari voltage divider memiliki output yang kecil maka untuk memiliki ketelitian yang diperlukan pada pengukuran temperatur untuk setiap kenaikan 1°C penguatan sebesar 2 kali diperlukan. Rangkaian Pengkondisi sinyal terdiri dari sebuah IC LM358 dan sebuah IC LM324. Rangkaian buffer dirancang menggunakan IC LM324 yang berfungsi untuk mengurangi efek pembebanan pada rangkaian jembatan Wheatstone. Rangkaian differential amplifier dibangun dari IC LM358 yang dipasang secara cascade. Pemilihan resistansi pada rangkaian differential amplifier didapat dari rekomendasi pada data sheet LM358 menggunakan resistor 100K Ω untuk mendapatkan amplifikasi 2 kali dari tegangan input. Setelah semua rangkaian sensor, rangkaian *driver* dan rangkaian pengkondisi sinyal terhubung dengan pengendali maka komponen pendukung harus dihubungkan dengan pengendali juga sesuai pada skematik Gambar 3 yang tercantum. Gambar 3 merupakan representasi dari sistem pengukuran dan *monitoring* menggunakan rangkaian Jembatan Wheatstone.

Perancangan Sistem Pengukuran Temperatur Air sebagai Sistem
Monitoring Temperatur *Boiler* Menggunakan NTC 3950



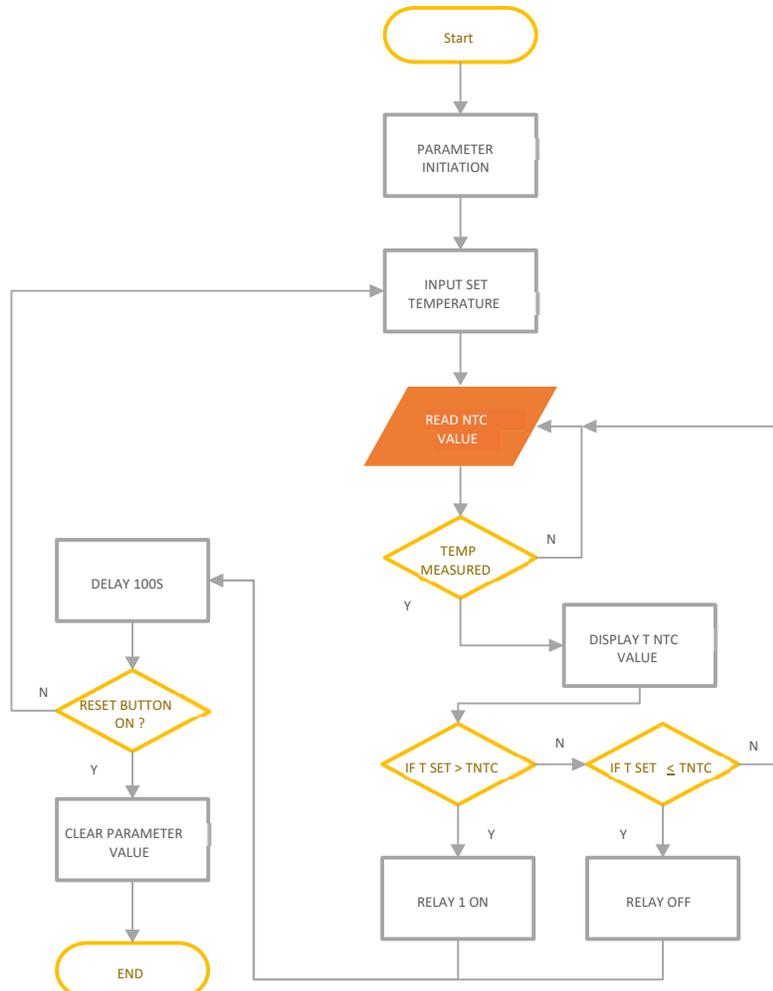
Gambar 3. Rangkaian Sistem Pengukuran Temperatur Dengan Rangkaian Jembatan Wheatstone.

Perangkat lunak yang digunakan pada sistem ini adalah Arduino IDE dengan Arduino UNO sebagai pengendali. Realisasi perangkat lunak ini digunakan untuk konfigurasi pembacaan temperatur dan pengaturan batas temperatur pada *boiler* pemrograman digunakan dengan 2 *driver* yg berbeda. Dimulai dengan inisiasi dan menginput nilai batas temperatur pada *boiler*, Jika temperatur berhasil terukur, hasil ditampilkan pada Serial LCD bila nilai temperatur NTC lebih dari nilai set temperatur maka *relay* akan mati sehingga pemanas akan ikut mati bila nilai yg terbaca pada temperatur ntc lebih kecil dari nilai set temperatur maka *relay* akan menyala kemudian durasi pengukuran diatur untuk 6 detik untuk memudahkan pencatatan data. Jika temperatur tidak berhasil terukur, kembali dilakukan pembacaan temperatur oleh sensor. Dengan Gambar 4 maka *flowchart* akan disusun sebagai berikut dimana persamaan matematis yg didapat dimasukan dalam bentuk syntax program yang akan mengkonversi nilai ADC yang dibaca pada pin analog A0 menjadi nilai temperatur yang terbaca oleh sensor NTC 3950 dengan *driver voltage divider*. Berikut *flowchart* yang digunakan pada rangkaian *voltage divider* dan Jembatan Wheatstone :



Gambar 4. Flowchart pada Program Konversi Tegangan menjadi Temperatur.

Program konversi akan diintegrasikan dengan program yang mengendalikan *actuator* dan *display*. Program counting juga akan diintegrasikan untuk memberikan batas besar temperatur yang diinginkan. Gambar 5 merupakan flowchart dari program sistem pengukuran dan monitoring temperatur.



Gambar 5. Flowchart pada Sistem Pengukuran Temperatur

3. Metode Pengambilan Data

Pada metologi pengujian ini dilakukan 2 tahap yaitu tahap yang pertama pengujian sistem pada medium dengan kenaikan temperature yang konstan, tahap kedua pengujian sistem pada medium dengan kenaikan temperature yang tidak konstan. XH-W3001 Digunakan sebagai sistem refrensi yang akan digunakan untuk membandingkan keluaran dari sistem yang dirancang . Metode pengujian pertama dengan mengukur cairan pada suatu medium pada kenaikan 28 °C – 100 °C dengan membandingkan nilai pengukuran pada sistem yang dirancang dengan sistem pengukuran refrensi setiap kenaikan dan penurunan temperatur 1°C. Pada Tahap 2 pengukuran temperatur dilakukan setiap kenaikan dan penurunan temperatur 5°C. Gambar 6 merupakan representasi dari bentuk XH-W3001 dan spesifikasinya.

Perancangan Sistem Pengukuran Temperatur Air sebagai Sistem
Monitoring Temperatur Boiler Menggunakan NTC 3950

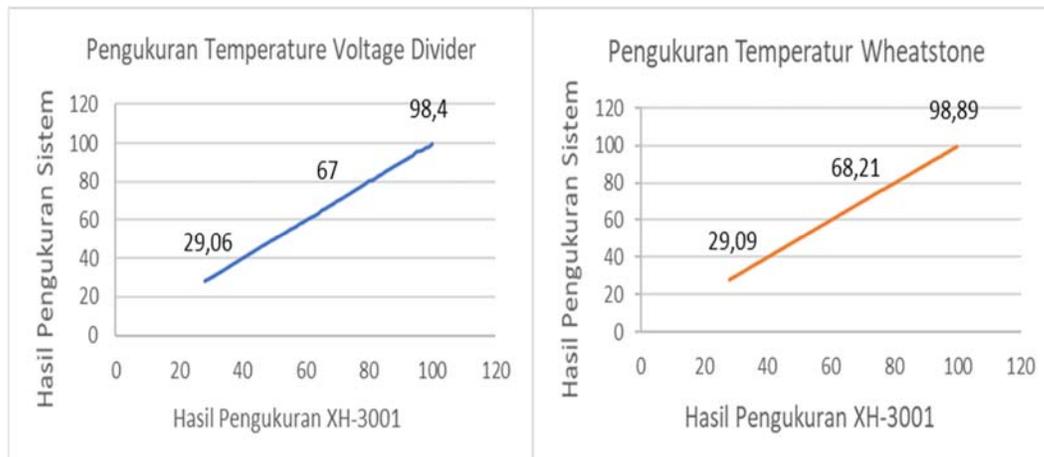


Housing Material	Plastic (IP22)
Temperature Range	-50 ... 110 °C
Working Mode	Heating and Cooling
Temperature Accuracy	0.2 °C
Measuring Accuracy	0.1 °C
Input Measurement	NTC 10K, 1 meter waterproof probe
Input Power Supply	12V DC / 24V DC / 230V AC
Output Power	120W, Direct 2 point On/Off output
Output Current	Max. 10A
Size	60X45X31mm
Mounting	DIN-Rail / Wall Surface

Gambar 6.(a) Bentuk Fisik XH-W3001 Sistem Pengukuran Temperatur;(b) Fisik dan Spesifikasi dari XH-W3001 Sistem Pengukuran Temperatur

4. Pengambilan Data

Data yang ditampilkan adalah temperatur pada sistem pengukuran yang dirancang sebanyak 6 kali dengan perubahan temperatur 1°C untuk 3 kali pengukuran kenaikan dan 3 kali pengukuran penurunan temperatur. Pengukuran kenaikan temperatur dilakukan pada temperatur 28 °C – 100 °C. Pada pengukuran penurunan temperatur dilakukan pengukuran pada temperatur 100 °C – 28 °C. Pengukuran tahap 1 dilakukan untuk kedua rangkaian driver sehingga pada pengukuran tahap 1 akan didapatkan 12 kali pengukuran di representasikan Gambar 7. Pengukuran dilakukan dengan cara mengukur panas air yang ada didalam pemanas air (electric kettle). Probe dari sistem pengukuran yang dirancang dan sistem referensi akan dimasukan kedalam pemanas air. Pemanas air akan memanaskan air sampai mencapai titik didih air.



Dalam pengujian tahap 2 ini pada dasarnya akan sama dengan pengujian sebelumnya hanya saja medium pemanas yang digunakan adalah ketel elektrik dimana kenaikannya tiap kenaikan tidak stabil maka pengukuran parameter dari sensor akan diukur setiap kenaikan 5 °C. Berikut pengambilan data pada pengujian tahap 2 dengan pengambilan data 5 kali untuk setiap pengukuran yang direpresentasikan Tabel 1 dan Tabel 2.

T	VOLTAGE DIVIDER									
	RISE Measuring °C					DOWN Measuring °C				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
28	28,04	28,03	28,2	28	27,8	28,04	28,04	28	28,2	27,6
30	29,99	29,95	30,7	30,2	29,5	29,95	29,99	30,2	30,7	30,2
35	34,6	34,6	34,82	34,6	34,9	34,96	34,96	34,6	34,82	34,9
40	40	39,99	39,12	38,9	39,6	39,92	40	39,9	39,12	39,6
45	45	45,17	45,6	45,9	45,03	45	45	45,9	46,6	45
50	50	49,95	50,4	49,4	49,7	49,99	50	49,4	50,4	50,7
55	55,3	55,02	54,68	54	54,9	55,03	55,03	54	54,68	54,2
60	59,4	59,7	60,07	60,5	59,7	59,4	60,07	60,5	60,07	61
65	65,7	64,9	65,8	65,3	65,4	65,7	65,68	66,8	65,8	64,7
70	70,06	69	70	71	69,9	70,6	70	70	71,1	70,7
75	75,02	74,91	75,6	75	76,01	75,6	75,6	75,6	75,85	74,7
80	80,18	80,8	80,7	79	80,6	80,8	80,7	80,8	80,2	79,2
85	85,45	85,8	86,09	85,2	86	85,7	86,09	87	86,1	85,4
90	90,6	89,99	93	90,4	89,8	90,7	91	93	90,7	89,5
95	95,6	95,2	94,8	96	95,2	96,4	94,8	96,4	96,2	96,3
100	99,42	99,8	99,3	99,2	98,8	99,2	99,3	99,2	99,3	98,87

(a)

T	WHEATSTONE BRIDGE									
	RISE Measuring °C					DOWN Measuring °C				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
28	27,99	28	28	28	28	28	28,07	28,07	28,06	28
30	30,01	30,01	30,03	30,03	30,05	30,1	30,01	30,01	30,05	30,03
35	35	35	35,02	35,05	35,07	35	35	35,06	35	35,04
40	40,01	40,01	40,04	40,04	40	40,1	40,01	40,05	40,01	39,99
45	45,01	45,01	45,01	44,99	45,01	45,01	45,01	45,01	45,01	44,99
50	50	49,99	49,99	49,99	49,07	50	50	50	50	49,8
55	55,01	54,99	54,99	55,94	54,91	55	55	55	54,98	54,98
60	59,08	59,9	59,99	59,94	59,98	59,8	59,98	59,98	59,98	59,95
65	65	65	65	65,08	65,09	64,5	65	65	65	65,4
70	70,04	70,03	70,05	69,09	70,04	70	69,98	70,04	70	70
75	75,01	75,94	75,07	74,99	75,05	75,1	75,1	75,05	75,01	75,1
80	80,03	80,06	80,05	80,03	80,08	79,9	79,99	79,99	79,99	79,99
85	85,07	85,07	85,02	84,98	85,02	85,3	85,02	85,02	85,02	85,03
90	90	90	90,02	89,99	91,05	90	90	89,94	89,94	90
95	95,09	95	95,09	95	95,05	95	96	95,02	95,02	95
100	99,97	99,99	99,99	99,99	99,98	99,9	99,99	99,99	99,99	98,98

(b)

Tabel 1. Pengukuran tahap 2 *Voltage divider* dan Jembatan Wheatstone

5. Analisis

Untuk menentukan rangkaian driver yang memiliki ketelitian yang baik diperlukan pengolahan data untuk mencari parameter standar deviasi, presisi dan akurasi. Untuk mencari presisi maka didekati dengan konsep ketidakpastian. Presisi berasal dari metode pengukuran berulang tidak mungkin dinyatakan secara persis menggunakan konsep error (galat). Kuantifikasi presisi yang paling memungkinkan adalah menggunakan konsep ketidakpastian (uncertainty). Ketidakpastian asal presisi metode adalah nilai Standar Deviasi (SD) dari pengujian sampel yang digunakan, dilakukan minimal duplo (pengulangan 3 kali). Dengan menggunakan terori CL (Confident Level), probabilitas cakupan yang diperoleh pada pendekatan pertama digunakan untuk mengubah nominal interval ketidakpastian. Untuk level kepercayaan 95%. Tingkat kepercayaan yang digunakan pada umumnya ialah sebesar 95%, yang dimaksud dengan tingkat kepercayaan ialah tingkat dimana sebesar 95% (nilai sampel akan mewakili nilai populasi dimana sample berasal. (Sarwono, 2006). Maka nilai parameter standar deviasi ($\Sigma S\theta$), presisi ($\Sigma \Delta$) dan akurasi (akurasi maksimum) akan dijabarkan pada tabel 3 dan Tabel 4 dibawah ini. Data standar deviasi dan presisi didapat dengan cara mencari rata – rata pada setiap pengukuran temperatur naik dan pengukuran temperatur turun. Nilai rata – rata dari pengukuran temperatur naik dan pengukuran temperatur turun akan dicari rata – ratanya dari kedua data tersebut sehingga mendapatkan data kuantitatif $\Sigma S\theta$ dan $\Sigma \Delta$.

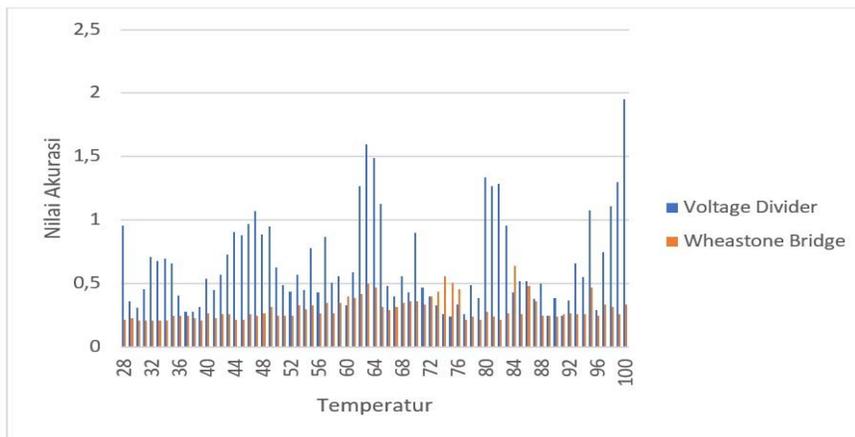
Tabel 3. Pengolahan Data pada pengujian Tahap 1

Voltage Divider			Wheatstone Bridge		
$\Sigma S\theta$	$\Sigma \Delta$	Akurasi Max	$\Sigma S\theta$	$\Sigma \Delta$	Akurasi Max
0,17	0,44	1,95	0,06	0,15	0,51

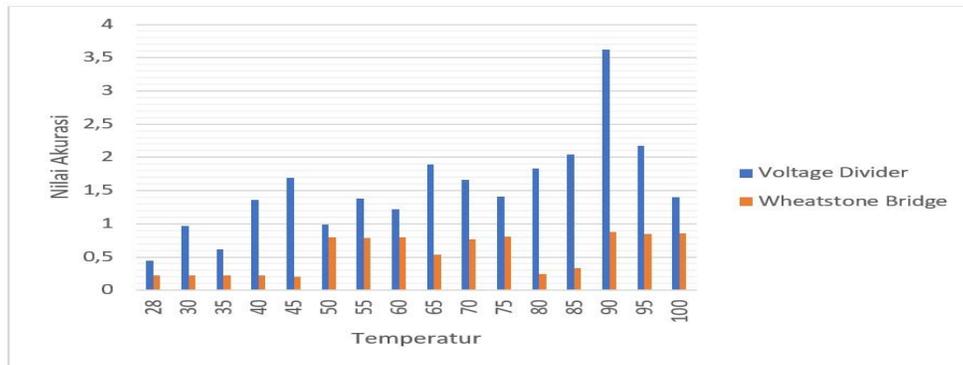
Tabel 4. Pengolahan Data pada pengujian Tahap 2

Voltage Divider			Wheatstone Bridge		
$\Sigma S\theta$	$\Sigma \Delta$	Akurasi Max	$\Sigma S\theta$	$\Sigma \Delta$	Akurasi Max
0,50	1,14	3,62	0,18	0,410	0,88

Perbedaan akurasi pada setiap pengujian dapat direpresentasikan Gambar 8(a) dan Gambar 8(b). Semakin kecil besar nilai akurasi yang didapat maka didapatkan bahwa suatu rangkaian memiliki akurasi yang baik sehingga dengan grafik dibawah ini didapatkan hasil akurasi berikut.



(a)



(b)

Gambar 8. (a) Nilai Akurasi sistem dengan rangkaian *Voltage divider*; (b) Nilai Akurasi sistem dengan Jembatan Wheatstone.

6. Kesimpulan

Dengan data kuantitatif dari pengolahan data presisi dan akurasi dapat diambil kesimpulan dengan memperhatikan data - data dari standar deviasi dan akurasi. Semakin kecil nilai standar deviasi menunjukkan seberapa kecil penyimpangan nilai yang dihasilkan oleh sistem sehingga pada pengolahan data kita dapat melihat seberapa baik nya rangkaian driver jembatan Wheatstone dengan melihat selisih dari output yang dihasilkan dari rangkaian voltage divider. Dengan nilai SD dari tahap 1 dan tahap 2 0,06 dan 0,182 pada jembatan Wheatstone menunjukkan penyimpangan data jauh lebih kecil dari pembagi tahanan dengan nilai yang dihasilkan yaitu 0,17 dan 0,5. Nilai akurasi diambil dari nilai akurasi yang didapatkan dari kedua rangkaian maka nilai akurasi pada jembatan Wheatstone adalah 0,51 pada tahap 1 dan 0,88 pada tahap 2 sedangkan voltage divider memiliki nilai akurasi maksimal 1,95 dan 3,62. Penyimpangan pada pembacaan temperature oleh sistem yang dirancang sebesar 0,17 pada perubahan temperatur yang konstan maka bila sistem membaca besaran temperature maka output simpangan nilai dari output tersebut adalah $(X+0,17)$, Contoh nya bila sistem mengukur besaran temperature dengan nilai 50 °C maka nilai pembacaan temperature dalam kisaran 50 °C -0,17 sampai 50 °C +0,17.

7. Daftar Rujukan

- Daniel, H., Albert P., Mike, P. (2007). "A Guide to Sensing Identification". John Wiley & Sons.
- J. D. V. Castro, D. F. Y. Velasquez and E. A. U. Calpa, "Towards a low-cost gas stove control for domestic cooking.," 2019 IEEE 4th Colombian Conference on Automatic Control (CCAC), Medellin, Colombia, 2019
- Kho, D. (2020). *Pengertian NTC (NTC dan PTC) beserta Karakteristiknya*.
- Lavenuta, G. J. (1997). *Negative Temperature Coefficient NTC. QTI Sensing Solutions, 2*.
- M. Hodes, "Optimal Design of Thermoelectric Refrigerators Embedded in a Thermal Resistance Network," in IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology.
- Murata. (2020). *NTC NTC*. Murata Innovator In Electronic, 15.
- Murjana, A. (2020). *Jembatan Wheatstone – Pengertian, Rumus, Cara Menentukan* Nasir, Syed Zain (2018). Introduction To Arduino.
- W. Setiawan, "Implementation of Integrated Learning Approach in Biomedical Measurement and Instrumentation Course," 2020 IEEE Global Engineering Education