Jurnal Fakultas Teknik
Universitas Muhamadiyah Parepare
Vol. xx No. xx, Bulan 20xx

STUDI EKSPERIMENTAL PERFORMANSI SENSOR SUHU PADA SISTEM PENGUKURAN TEMPERATUR

Muh. Ismail Mustapa[1*], Muhammad Basri[2], Alauddin Y.[3]

[1,2,3] Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Parepare, Indonesia*
**Email : Mhmmdismail26@Gmail.Com*

Abstract: Sensor suhu merupakan komponen penting dalam sistem pemantauan lingkungan, industri, dan otomasi yang menuntut akurasi dan keandalan tinggi. Berbagai jenis sensor suhu, seperti DHT11, DHT22, LM35, dan DS18B20, banyak digunakan karena harga yang terjangkau dan kemudahan integrasi, namun memiliki karakteristik performa yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi dan linearitas keempat sensor tersebut dengan membandingkannya terhadap sensor referensi digital HTC-1. Penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Parepare selama satu bulan. Data dikumpulkan dari 20 kali pembacaan masing-masing sensor dalam kondisi suhu ruang, lalu dianalisis nilai error dan kestabilannya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa DHT22 memiliki akurasi tertinggi dengan error rata-rata 0,5% dan linearitas terbaik dibandingkan sensor lainnya. DS18B20 memiliki error sebesar 4,54%, DHT11 sebesar 8,63%, dan LM35 menunjukkan error tertinggi sebesar 12,92%. DHT22 juga menunjukkan kestabilan pembacaan yang baik dengan rentang fluktuasi suhu yang sangat kecil. Berdasarkan hasil tersebut, DHT22 dinilai paling sesuai untuk aplikasi pemantauan suhu yang membutuhkan data real-time dan presisi tinggi. Penelitian ini merekomendasikan uji lanjutan menggunakan lebih dari satu sensor referensi untuk memperkuat validitas hasil.

Keywords: Temperature sensor, DHT22, DHT11, LM35, DS18B20

1. PENDAHULUAN

Di era teknologi cerdas saat ini, sensor suhu memainkan peranan penting dalam berbagai aspek kehidupan, baik dalam skala rumah tangga maupun industri. Sensor ini mampu mendeteksi perubahan suhu lingkungan secara akurat dan mengubahnya menjadi sinyal listrik yang dapat dibaca dan dianalisis (Supriyanto & Anggono, 2025). Fungsi sensor suhu tidak hanya terbatas pada pengukuran, tetapi juga menjadi bagian dari sistem kontrol otomatis yang mampu mengatur perangkat berdasarkan kondisi suhu tertentu. Hal ini sangat membantu dalam menciptakan lingkungan yang nyaman, aman, dan efisien, serta mengurangi kebutuhan pengawasan manual oleh manusia. (Raju et al., 2025)

Perkembangan teknologi sensor telah mendorong terciptanya berbagai jenis sensor suhu dengan tingkat akurasi dan presisi yang berbeda. Beberapa di antaranya bahkan sudah dilengkapi dengan kemampuan konektivitas digital, sehingga dapat diintegrasikan dengan sistem berbasis Internet of Things (IoT) (Rahmadhani & Arum, 2022). Namun demikian, untuk memastikan bahwa sensor dapat bekerja dengan baik dalam aplikasi

nyata, diperlukan pengujian menyeluruh terhadap karakteristik kinerjanya. Sensor yang digunakan dalam sistem pengukuran suhu harus mampu memberikan data yang stabil dan akurat, terutama jika digunakan dalam lingkungan yang memerlukan pemantauan suhu secara berkelanjutan. (Nahdi & Dhika, 2021)

Salah satu tantangan utama dalam pengukuran suhu adalah ketidakakuratan data yang dihasilkan oleh sensor akibat perbedaan spesifikasi teknis, toleransi pabrik, dan kondisi lingkungan saat pengukuran (Varshney et al., 2021). Perbedaan hasil pengukuran antar sensor dapat menyebabkan kesalahan dalam proses pengambilan keputusan, terutama dalam sistem otomatis yang sangat bergantung pada data sensor. Oleh karena itu, penting untuk mengevaluasi performansi sensor dalam kondisi yang menyerupai aplikasi nyata, agar hasilnya dapat diandalkan dan digunakan sebagai dasar pemilihan sensor yang tepat. (Hymczak et al., 2021)

Pengukuran suhu dan kelembapan sangat penting di banyak bidang seperti pertanian, kesehatan, logistik, dan penelitian ilmiah. Contohnya, dalam rumah kaca, suhu yang tidak stabil dapat mengganggu pertumbuhan tanaman. Begitu pula dalam laboratorium atau gudang penyimpanan, suhu yang tidak terjaga dapat merusak bahan kimia atau produk yang sensitif terhadap suhu. Alat ukur konvensional seperti termohigrometer memang masih digunakan, tetapi kurang cocok untuk kebutuhan pemantauan jangka panjang dan waktu nyata karena keterbatasan teknologinya. (Muttaqin et al., 2024)

Dalam beberapa tahun terakhir, sistem pemantauan suhu berbasis mikrokontroler seperti Arduino dan Raspberry Pi mulai banyak digunakan. Sistem ini didukung oleh berbagai jenis sensor suhu populer seperti DHT11, DHT22, LM35, dan DS18B20. Sensor-sensor ini mudah ditemukan di pasaran dengan harga terjangkau, serta memiliki dokumentasi teknis yang cukup lengkap. Meskipun begitu, masing-masing sensor memiliki kelebihan dan kekurangan yang perlu dipahami. Misalnya, sensor DHT22 memiliki akurasi yang lebih tinggi dibandingkan DHT11, namun keduanya masih memiliki toleransi kesalahan tertentu yang bisa memengaruhi keakuratan data. (Ardiansah et al., 2021)

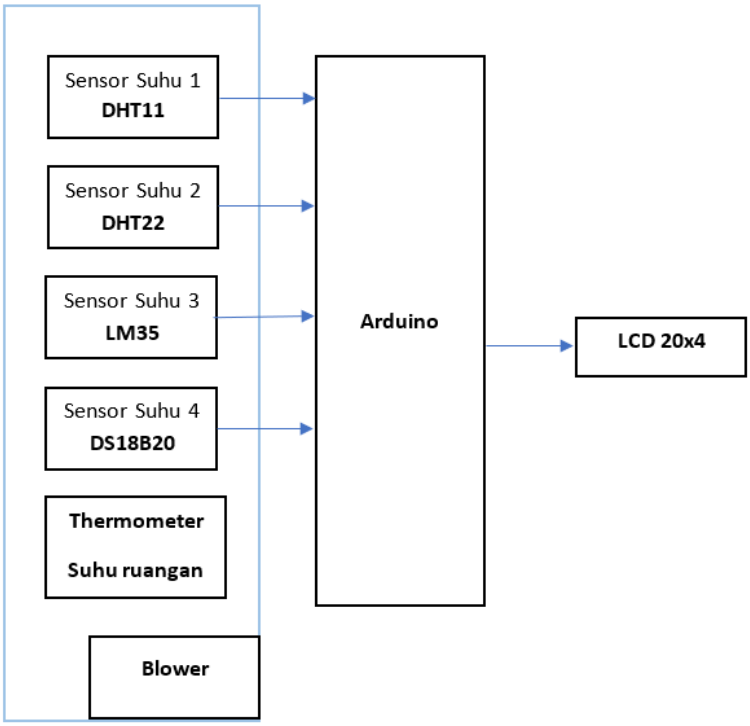
Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh beberapa peneliti, seperti Behzadi et al., (2022 dan Sobczyk et al., (2022) yang membahas tentang peningkatan performa sensor suhu dari segi material, desain, dan integrasinya dengan sistem pintar. Di sisi lain, Si et al., (2022) menekankan pentingnya validasi dan kalibrasi sensor untuk memastikan keandalan hasil pengukuran. Namun, studi komparatif antara beberapa jenis sensor suhu dengan kondisi pengujian yang seragam masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini menjadi penting dilakukan untuk dapat memberikan informasi mendalam mengenai akurasi dan kestabilan masing-masing sensor dalam satu sistem pengukuran yang sama.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk melakukan studi eksperimental terhadap performansi beberapa sensor suhu yang umum digunakan, yaitu DHT11, DHT22, LM35, dan DS18B20. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk membandingkan hasil pembacaan suhu dari masing-masing sensor terhadap sensor

referensi digital, guna mengetahui tingkat akurasi, kestabilan data, dan kelayakan sensor untuk digunakan dalam sistem pengukuran suhu yang berkelanjutan dan real-time.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi eksperimental kuantitatif yang dilakukan secara sistematis untuk menguji dan membandingkan performansi beberapa jenis sensor suhu melalui pengendalian variabel yang ketat dan pengukuran yang presisi. Eksperimen dilaksanakan di Laboratorium Teknik Elektro, Gedung F, Universitas Muhammadiyah Parepare, selama satu bulan, yakni dari Februari hingga Maret 2025. Penelitian ini memanfaatkan serangkaian alat dan bahan meliputi empat sensor suhu (DHT11, DHT22, LM35, dan DS18B20), satu unit thermohygrometer sebagai alat referensi, blower untuk menghasilkan variasi suhu, serta rangkaian mikrokontroler berbasis Arduino yang dilengkapi dengan LCD 20x4 dan modul driver I2C untuk menampilkan hasil pembacaan sensor secara real-time. Dalam pembuatan system ini perlu adanya perancangan diagram blok dimaksud agar lebih mudah dipahami dan mudah dilihat berdasarkan urutan. Berikut rancangan dari penelitian ini:



Gambar 1. Diagram Blok Studi Eksperimental Performansi Sensor Suhu Pada sistem Pengukuran Temprature

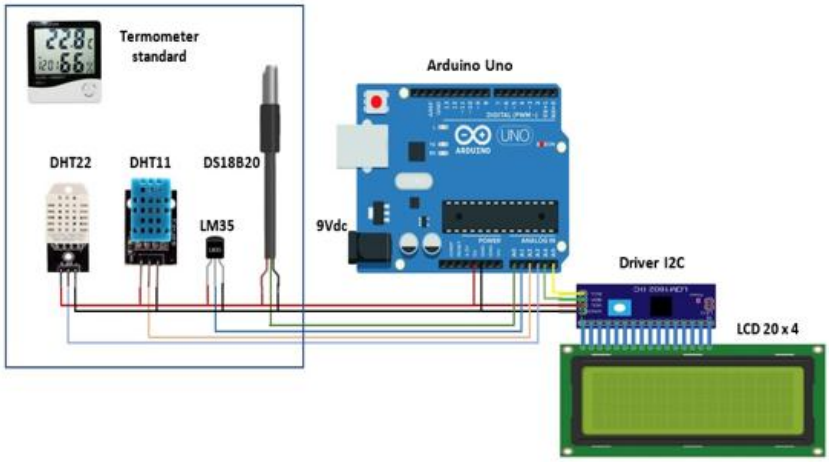
Pengumpulan data dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah studi literatur yang bertujuan memperkuat dasar teoritis mengenai karakteristik, prinsip kerja, dan kemajuan teknologi sensor suhu. Tahap kedua adalah eksperimen langsung di mana masing-masing sensor dipasang dalam satu sistem terintegrasi dan diuji secara bersamaan dalam berbagai kondisi suhu yang dikontrol menggunakan blower. Setiap

sensor mencatat suhu yang terukur dan hasilnya dibandingkan dengan pembacaan dari termohigrometer standar untuk mengevaluasi tingkat akurasi, stabilitas data, serta keandalan masing-masing sensor. Seluruh data yang diperoleh kemudian dianalisis secara kuantitatif untuk menghitung nilai galat dan mengetahui perbedaan performa antar sensor, sehingga diperoleh kesimpulan yang objektif mengenai sensor mana yang paling layak digunakan dalam sistem pemantauan suhu secara berkelanjutan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perancangan Perangkat Keras

Input sistem terdiri dari 4 buah sensor suhu. Outputnya berupa tampilan pembacaan suhu melalui LCD 20x4. Rangkaian lengkap diperlihatkan dalam gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Lengkap Sistem Pengukuran Temperature

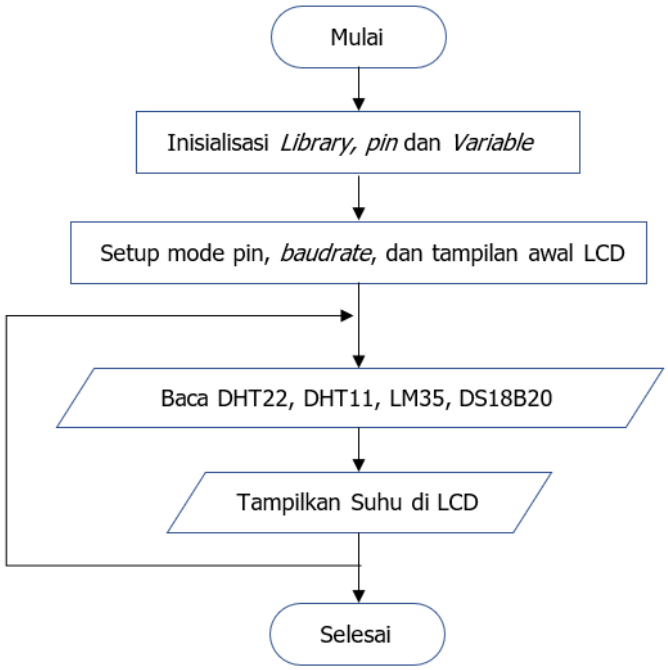
Tabel 1. Koneksi Pengabelan

Input				Proses	Output
DHT22	**DHT11**	**LM35**	**DS18B20**	**Arduino**	**LCD**
VCC	VCC	VCC	VCC	5V	VCC
-	Output	-	-	A2	-
Gnd	Gnd	Gnd	Gnd	Gnd	Gnd
Output	-		-	A3	-
-	-	Output	-	A1	-
-	-	-	Output	A0	-
-	-	-	-	D2	-
-	-	-	-	A4	SDA
-	-	-	-	A5	SCL

3.2. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak dirancang menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C. Untuk membaca data dari sensor suhu, digunakan library DHT.h untuk DHT11 dan DHT22, serta DallasTemperature.h untuk DS18B20. Sedangkan LM35 tidak memerlukan library khusus. Tampilan data pada LCD 20x4 dikendalikan melalui library

LiquidCrystal_I2C.h. Program ini memungkinkan pembacaan suhu dari keempat sensor secara bersamaan dan menampilkannya secara real-time. Adapun Diagram Alir (Flowchart) pembacaan sensor suhu ditunjukkan dalam gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir (Flowchart) Pembacaan Sensor Suhu

Inisialisasi library, pin, dan variable. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa semua perangkat yang digunakan mempunyai library, pin koneksi, dan variable-variable yang digunakan untuk pembacaan suhu. Setup mode pin,baudrate,tampilan awal LCD konfigurasi dilakukan pada mode pin (input/output),pengaturan komunikasi serial,serta menampilkan informasi awal sebagai persiapan sebelum data suhu ditampilkan. Baca DHT22,DHT11,LM35,DS18B20 pada Langkah ini sistem membaca suhu dari keempat sensor yang telah disebutkan.Setiap sensor akan mengirimkan data suhu sesuai jenis dan karakteristiknya. Tampilkan suhu di LCD, Data suhu yang telah dibaca dari sensor di tampilkan di layer LCD agar dapat di pantau secara langsung. Selesai, Proses selesai, namun biasanya sistem akan terus membaca secara real-time.

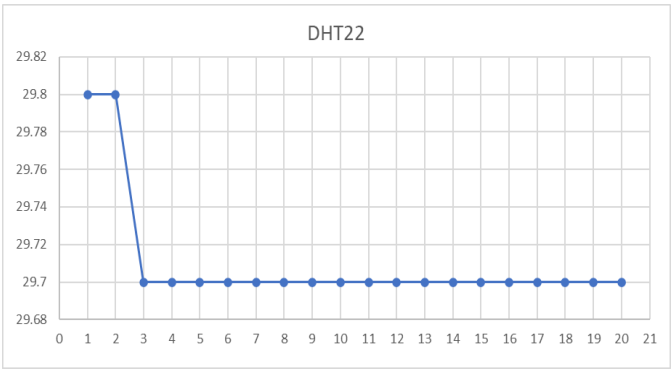
3.3. Pengujian Kestabilan Pembacaan Masing-Masing Sensor Suhu Pada Suhu Ruang



Gambar 8. Pengujian Kestabilan Pembacaan Suhu

Tabel 2. Hasil Pengujian DHT22

No	DHT22 (Derajat)	HTC-1 (Derajat)
1	29.80	29.70
2	29.80	29.70
3	29.70	29.70
4	29.70	29.70
5	29.70	29.70
6	29.70	29.70
7	29.70	29.70
8	29.70	29.70
9	29.70	29.70
10	29.70	29.70
11	29.70	29.70
12	29.70	29.70
13	29.70	29.70
14	29.70	29.70
15	29.70	29.70
16	29.70	29.70
17	29.70	29.70
18	29.70	29.70
19	29.70	29.70
20	29.70	29.70

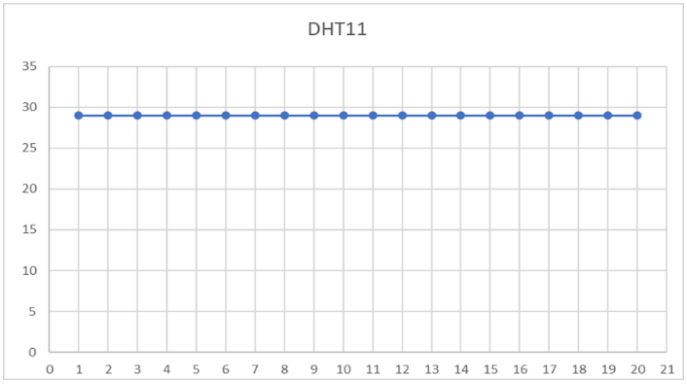


Gambar 9. Grapik Hasil Pengujian DHT22

Pada gambar 9 menunjukkan bahwa pengukuran sensor DHT22 pada suhu ruang menunjukkan hasil stabil dengan rentang suhu 29,70–29,80 °C, dan mayoritas data berada di 29,70 °C.

Tabel 3. Hasil Pengujian DHT11

No	DHT11 (Derajat)	HTC-1 (Derajat)
1	29.00	29.70
2	29.00	29.70
3	29.00	29.70
4	29.00	29.70
5	29.00	29.70
6	29.00	29.70
7	29.00	29.70
8	29.00	29.70
9	29.00	29.70
10	29.00	29.70
11	29.00	29.70
12	29.00	29.70
13	29.00	29.70
14	29.00	29.70
15	29.00	29.70
16	29.00	29.70
17	29.00	29.70
18	29.00	29.70
19	29.00	29.70
20	29.00	29.70

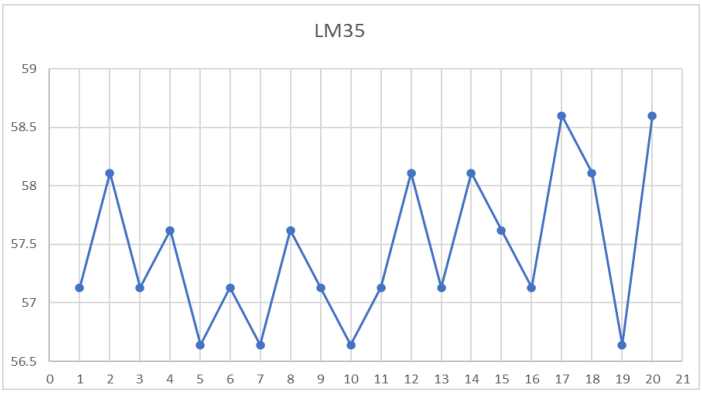


Gambar 10. Grafik Hasil Pengujian DHT11

Pada gambar 10, data hasil pengukuran pembacaan sensor suhu DHT11 pada suhu ruang, terlihat bahwa dari 20 sampel, nilai pembacaan suhu ialah 29.00 o C. Dari data dan grafik terlihat bahwa suhu stabil di 29.00 oC.

Gambar 4. Hasil Pengujian LM35

No	LM35 (Derajat)	HTC-1 (Derajat)
1	57.13	29.70
2	58.11	29.70
3	57.13	29.70
4	57.62	29.70
5	56.64	29.70
6	57.13	29.70
7	56.64	29.70
8	57.62	29.70
9	57.13	29.70
10	56.64	29.70
11	57.13	29.70
12	58.11	29.70
13	57.13	29.70
14	58.11	29.70
15	57.64	29.70
16	57.13	29.70
17	58.60	29.70
18	58.11	29.70
19	56.64	29.70
20	58.60	29.70

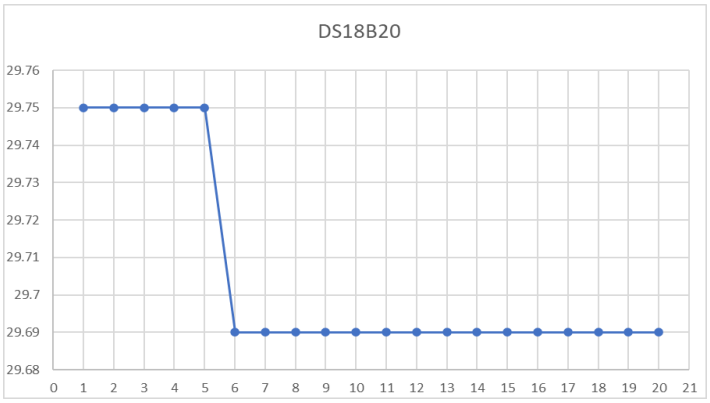


Gambar 11. Grafik Hasil Pengujian LM35

Pada gambar 11, Pengukuran sensor LM35 menunjukkan suhu berfluktuasi dengan rentang 56,64–58,60 °C, sehingga data dianggap kurang stabil.

Tabel 5. Hasil Pengujian DS18B20

No	DS18B20 (Derajat)	HTC-1 (Derajat)
1	29.75	29.70
2	29.75	29.70
3	29.75	29.70
4	29.75	29.70
5	29.75	29.70
6	29.69	29.70
7	29.69	29.70
8	29.69	29.70
9	29.69	29.70
10	29.69	29.70
11	29.69	29.70
12	29.69	29.70
13	29.69	29.70
14	29.69	29.70
15	29.69	29.70
16	29.69	29.70
17	29.69	29.70
18	29.69	29.70
19	29.69	29.70
20	29.69	29.70



Gambar 12. Grafik Hasil Pengujian DS18B20

Pada gambar 12 menunjukkan bahwa pengukuran sensor DS18B20 menunjukkan hasil stabil dengan rentang suhu 29,69–29,75 °C, dan suhu cenderung berada di angka 29,69 °C.

3.4 Pengujian Linearitas pembacaan sensor suhu terhadap sensor paten

Pengujian dilakukan dengan cara merangkai seluruh sensor ke papan Arduino Uno sesuai dengan skema yang ditampilkan, di mana hasil pembacaan suhu dari masing-masing sensor akan ditampilkan pada layar LCD 20x4 melalui komunikasi I2C. Arduino akan diprogram menggunakan Arduino IDE untuk membaca data suhu dari masing-masing sensor. Selanjutnya, blower dinyalakan untuk menghasilkan perubahan suhu secara bertahap, dan pembacaan suhu dari masing-masing sensor dibandingkan dengan nilai yang ditunjukkan oleh termometer digital standar. Data hasil pembacaan dicatat pada setiap perubahan suhu, kemudian dianalisis untuk mengetahui seberapa linier dan akurat masing-masing sensor dalam merespons perubahan suhu.



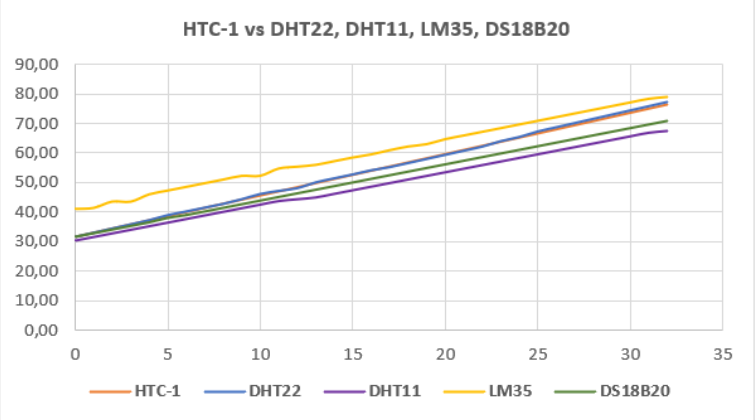


Gambar 13. Pengujian Linearitas Pembacaan Suhu

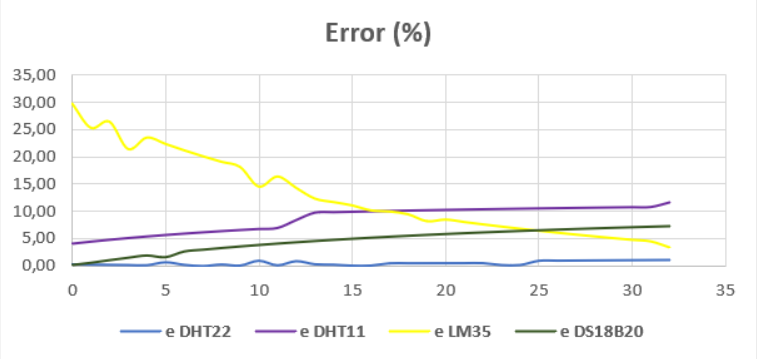
Tabel 2. Hasil Pengujian Pembacaan Suhu

No	Pengukuran Suhu (derajat)					Error (%)			
	HTC-1	DHT22	DHT11	LM35	DS18B20	DHT22	DHT11	LM35	DS18B20
0	31,60	31,50	30,30	41,02	31,62	0,32	**4,11**	**29,81**	**0,06**
1	33,00	32,91	31,52	41,37	32,85	0,27	4,48	25,35	0,46
2	34,41	34,33	32,75	43,52	34,08	0,23	4,82	26,48	0,94
3	35,81	35,74	33,97	43,49	35,31	0,20	5,14	21,45	1,39
4	37,21	37,15	35,19	45,98	36,54	0,16	5,43	23,57	1,80
5	38,61	38,87	36,41	47,26	38,04	0,66	5,69	22,40	1,49
6	40,02	40,11	37,64	48,51	39,00	0,23	5,94	21,23	2,53
7	41,42	41,41	38,86	49,76	40,23	**0,02**	6,18	20,14	2,86
8	42,82	42,70	40,08	51,01	41,47	0,28	6,39	19,12	3,17
9	44,22	44,27	41,31	52,26	42,70	0,10	6,60	18,17	3,46
10	45,63	46,05	42,53	52,28	43,93	0,93	6,79	14,58	3,73
11	47,03	47,10	43,75	54,76	45,16	0,15	6,97	16,43	3,98
12	48,43	48,02	44,36	55,38	46,39	0,85	8,40	14,35	4,22
13	49,84	50,00	44,98	56,01	47,62	0,33	9,75	12,38	4,45
14	51,24	51,37	46,20	57,26	48,85	0,26	9,84	11,74	4,66
15	52,64	52,69	47,42	58,50	50,08	0,09	9,92	11,14	4,87
16	54,04	54,10	48,64	59,57	51,31	0,10	9,99	10,23	5,06
17	55,45	55,17	49,87	61,00	52,54	0,49	10,06	10,02	5,24

No	Pengukuran Suhu (derajat)					Error (%)			
	HTC-1	DHT22	DHT11	LM35	DS18B20	DHT22	DHT11	LM35	DS18B20
18	56,85	56,57	51,09	62,25	53,77	0,50	10,13	9,50	5,41
19	58,25	57,96	52,31	63,05	55,00	0,51	10,20	8,24	5,58
20	59,66	59,35	53,54	64,75	56,23	0,51	10,26	8,54	5,74
21	61,06	60,74	54,76	66,00	57,46	0,52	10,32	8,09	5,89
22	62,46	62,14	55,98	67,25	58,69	0,52	10,37	7,66	6,03
23	63,86	63,99	57,21	68,49	59,92	0,19	10,43	7,25	6,17
24	65,27	65,40	58,43	69,74	61,16	0,21	10,48	6,86	6,30
25	66,67	67,28	59,65	70,99	62,39	0,92	10,53	6,49	6,42
26	68,07	68,71	60,87	72,24	63,62	0,94	10,57	6,13	6,54
27	69,47	70,14	62,10	73,49	64,85	0,96	10,62	5,78	6,66
28	70,88	71,58	63,32	74,74	66,08	0,98	10,66	5,45	6,77
29	72,28	73,01	64,54	75,99	67,31	1,01	10,70	5,13	6,88
30	73,68	74,44	65,77	77,24	68,54	1,02	10,74	4,82	6,98
31	75,09	75,87	66,99	78,49	69,77	1,04	10,78	4,53	7,08
32	76,49	77,30	67,60	79,11	71,00	**1,06**	**11,62**	**3,43**	**7,17**



Gambar 14. Grafik Linearitas Pembacaan Suhu DHT22, DHT11, LM35 dan DS18B20 terhadap HTC-1



Gambar 15. Grafik Error Pembacaan Suhu DHT22, DHT11, LM35 dan DS18B20 terhadap HTC-1

Berdasarkan grafik hasil pengujian, dapat dilihat bahwa sensor DHT22 menunjukkan tingkat linearitas yang tinggi terhadap pembacaan suhu referensi dari alat HTC-1. Hal ini berarti bahwa perubahan suhu yang terbaca oleh DHT22 sebanding dengan perubahan suhu pada alat referensi, dan nilai error yang dihasilkan relatif kecil serta konsisten di seluruh rentang suhu yang diuji, sehingga menunjukkan stabilitas dan keandalan yang baik. Sementara itu, sensor DHT11 dan DS18B20 cenderung mengalami peningkatan nilai error seiring dengan naiknya suhu. Artinya, semakin tinggi suhu yang diukur, deviasi hasil pembacaan dari nilai referensi juga semakin besar, yang mengindikasikan bahwa performa kedua sensor ini menurun pada suhu yang lebih tinggi. Berbeda dengan LM35, sensor ini justru menunjukkan tren sebaliknya, yaitu semakin besar suhu yang diukur, semakin kecil error yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa LM35 lebih akurat pada rentang suhu tinggi, meskipun pada suhu rendah sensor ini cenderung menghasilkan deviasi yang lebih besar dibandingkan sensor lainnya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian terhadap empat sensor suhu, diperoleh bahwa sensor DHT22 memiliki tingkat akurasi terbaik dengan error rata-rata hanya 0,5% dan menunjukkan linearitas pembacaan yang paling mendekati sensor referensi HTC-1. Sensor DS18B20 berada di posisi kedua dengan error 4,54%, diikuti DHT11 sebesar 8,63%, dan LM35 yang memiliki error tertinggi sebesar 12,92%. Temuan ini mengindikasikan bahwa DHT22 paling direkomendasikan untuk aplikasi pemantauan suhu yang membutuhkan keakuratan tinggi. Sebagai saran, penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan lebih dari satu sensor referensi digital guna memperoleh validasi hasil yang lebih kuat dan komprehensif.

REFERENSI

Ardiansah, I., Bafdal, N., Suryadi, E., & Bono, A. (2021). Design of Micro-Climate Data Monitoring System for Tropical Greenhouse based on Arduino UNO and Raspberry Pi. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *757*(1), 012017. https://doi.org/10.1088/1755-1315/757/1/012017

Behzadi, A., Holmberg, S., Duwig, C., Haghighat, F., Ooka, R., & Sadrizadeh, S. (2022). Smart design and control of thermal energy storage in low-temperature heating and high-temperature cooling systems: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *166*, 112625. https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112625

Hymczak, H., Gołąb, A., Mendrala, K., Plicner, D., Darocha, T., Podsiadło, P., Hudziak, D., Gocoł, R., & Kosiński, S. (2021). Core Temperature Measurement—Principles of Correct Measurement, Problems, and Complications. *International Journal of*

Environmental Research and Public Health, *18*(20), 10606. https://doi.org/10.3390/ijerph182010606

Muttaqin, R., Prayitno, W. S. W., Setyaningsih, N. E., & Nurbaiti, U. (2024). Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis Iot (Internet Of Things) dengan Sensor DHT11 dan Sensor MQ135. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, *6*(2), 102–115. https://doi.org/10.14710/jplp.6.2.102-115

Nahdi, F., & Dhika, H. (2021). Analisis Dampak Internet of Things (IoT) Pada Perkembangan Teknologi di Masa Yang Akan Datang. *INTEGER: Journal of Information Technology*, *6*(1). https://doi.org/10.31284/j.integer.2021.v6i1.1423

Rahmadhani, V., & Arum, W. (2022). LITERATURE REVIEW INTERNET OF THINK (IOT): SENSOR, KONEKTIFITAS DAN QR CODE . *JURNAL MANAJEMEN PENDIDIKAN DAN ILMU SOSIAL*, *3*(2).

Raju, B., Kumar, R., Dhanalakshmi, S., Hrbac, R., Demel, L., & R, N. (2025). Experimental investigation on polymer coated fibre bragg grating sensor for temperature measurement in sewer environment. *Results in Engineering*, *25*, 104319. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104319

Si, Y., Chen, S., Li, M., Li, S., Pei, Y., & Guo, X. (2022). Flexible Strain Sensors for Wearable Hand Gesture Recognition: From Devices to Systems. *Advanced Intelligent Systems*, *4*(2). https://doi.org/10.1002/aisy.202100046

Sobczyk, M., Wiesenhütter, S., Noennig, J. R., & Wallmersperger, T. (2022). Smart materials in architecture for actuator and sensor applications: A review. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, *33*(3), 379–399. https://doi.org/10.1177/1045389X211027954

Supriyanto, S., & Anggono, S. U. (2025). COMPARATIVE ANALYSIS OF POWER CONSUMPTION AND REAL-TIME PERFORMANCE BETWEEN ESP32 AND RASPBERRY PI PICO W IN IOT-BASED TEMPERATURE MONITORING SYSTEMS. *JURNAL TEKNOLOGI INFORMASI DAN KOMUNIKASI*, *16*(1), 176–182. https://doi.org/10.51903/jtikp.v16i1.1147

Varshney, A., Garg, N., Nagla, K. S., Nair, T. S., Jaiswal, S. K., Yadav, S., & Aswal, D. K. (2021). Challenges in Sensors Technology for Industry 4.0 for Futuristic Metrological Applications. *MAPAN*, *36*(2), 215–226. https://doi.org/10.1007/s12647-021-00453-1