

Perancangan Sistem Pengkondisi Sinyal Sensor Suhu LM35 Berbasis LM358 untuk Monitoring Temperatur Ruang Server

¹ Syamsudduha Syahririni_1, ² Agus Hayatal Falah_2, ³ Akhmad Ahfas_3, ⁴ Dwi Hadijaja Saputra_4, ⁵ Ahmad Zidan Farrel Alfaiz_5

^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Sidoarjo
¹syahririni@umsida.ac.id_1, ²agushayataalfalah@umsida.ac.id_2

Abstract - Server room temperature is a critical parameter that must be continuously monitored because uncontrolled temperature rise can reduce the reliability of the electronic equipment inside it. The LM35 temperature sensor produces a very small output voltage of 10 mV/°C, so it cannot be directly processed by a data acquisition system without a signal conditioning process. This research aims to design and test a signal conditioning circuit based on a non-inverting amplifier and a low pass filter using the LM358 IC for server room temperature monitoring applications. The non-inverting amplifier was designed with a gain of 10 using $R_f = 90\text{ k}\Omega$ and $R_g = 10\text{ k}\Omega$, while the low pass filter was designed with a cutoff frequency of approximately 100 Hz using $R = 15.9\text{ k}\Omega$ and $C = 100\text{ nF}$. Testing was carried out through simulation using Proteus software and hardware implementation over a temperature range of 24-28°C. The results show that the output voltage increases linearly with temperature rise, both in simulation and hardware results, with an average percentage error of 0.63%. These results prove that the designed signal conditioning circuit works in accordance with theoretical calculations and is feasible to be implemented for a server room temperature monitoring system.

Keywords — LM35 sensor; non-inverting amplifier; low pass filter; LM358; signal conditioning; server room temperature

Abstrak— Suhu ruang server merupakan parameter kritis yang harus dipantau secara kontinu karena kenaikan suhu yang tidak terkendali dapat menurunkan keandalan perangkat elektronik di dalamnya. Sensor suhu LM35 menghasilkan keluaran tegangan yang sangat kecil, yaitu sebesar 10 mV/°C, sehingga tidak dapat langsung diolah oleh sistem akuisisi data tanpa proses pengkondisian sinyal. Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji rangkaian pengkondisi sinyal berbasis penguat non-inverting dan low pass filter menggunakan IC LM358 untuk aplikasi monitoring temperatur ruang server. Penguat non-inverting dirancang dengan penguatan (gain) sebesar 10 kali menggunakan $R_f = 90\text{ k}\Omega$ dan $R_g = 10\text{ k}\Omega$, sedangkan low pass filter dirancang dengan frekuensi cutoff sekitar 100 Hz menggunakan $R = 15,9\text{ k}\Omega$ dan $C = 100\text{ nF}$. Pengujian dilakukan melalui simulasi menggunakan perangkat lunak Proteus dan implementasi perangkat keras pada rentang suhu 24-28°C. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan keluaran meningkat secara linier terhadap kenaikan suhu, baik pada hasil simulasi maupun hardware, dengan rata-rata persentase error sebesar 0,63%. Hasil ini membuktikan bahwa rangkaian pengkondisi sinyal yang dirancang mampu bekerja sesuai dengan perhitungan teoretis dan layak diimplementasikan untuk sistem monitoring suhu ruang server.

Kata Kunci— frekuensi cutoff; low pass filter; LM358; pengkondisi sinyal; penguat non-inverting; sensor LM35; suhu ruang server

I. PENDAHULUAN

Ruang server merupakan lingkungan kritis yang menampung perangkat komputasi dan jaringan dengan tingkat kepadatan panas yang tinggi. Kondisi temperatur yang tidak terpantau dengan baik dapat memengaruhi kinerja dan keandalan perangkat elektronik sehingga diperlukan sistem monitoring temperatur yang mampu memberikan informasi secara akurat dan kontinu. Penerapan sistem monitoring temperatur pada ruang server menggunakan sensor LM35 telah dilakukan pada penelitian sebelumnya [1], [2]. Implementasi sensor LM35 dan mikrokontroler juga telah diterapkan untuk sistem monitoring temperatur pada data center [3]. Selain temperatur, monitoring kondisi lingkungan ruang server dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan parameter lain seperti kelembapan [4]. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengukuran temperatur merupakan salah satu parameter penting dalam menjaga kondisi operasional perangkat pada ruang server.

Salah satu sensor yang dapat digunakan untuk pengukuran temperatur adalah LM35. Berdasarkan datasheet, LM35 memiliki karakteristik keluaran linear sebesar $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ dan memberikan keluaran yang terkalibrasi dalam satuan Celsius [5]. Namun, tegangan keluaran sensor yang relatif kecil menyebabkan diperlukan adanya tahap pengkondisian sinyal sebelum sinyal diteruskan ke sistem akuisisi data. Penggunaan pengkondisi sinyal menjadi penting untuk menghasilkan sinyal yang lebih sesuai dengan kebutuhan sistem pengukuran.

Salah satu metode pengkondisian sinyal adalah menggunakan penguat operasional dengan konfigurasi non-inverting. Konfigurasi ini memiliki impedansi masukan yang tinggi dan memungkinkan nilai penguatan diatur melalui resistor umpan balik [6]. Prinsip kerja dan karakteristik rangkaian penguat operasional juga telah dibahas secara luas dalam perancangan rangkaian elektronika analog [6], [7]. Penelitian mengenai penguat non-inverting sebagai pengkondisi sinyal sensor suhu menunjukkan bahwa konfigurasi tersebut dapat digunakan untuk meningkatkan level tegangan keluaran sensor sebelum diproses lebih lanjut [8].

Selain penguatan, sinyal keluaran sensor dapat mengandung noise yang berpotensi memengaruhi ketelitian pembacaan. Oleh karena itu, diperlukan proses penyaringan sinyal menggunakan low pass filter untuk meredam komponen frekuensi tinggi. Penelitian mengenai low pass filter aktif menunjukkan bahwa filter dapat digunakan untuk mengurangi noise pada sistem akuisisi data suhu [9], [10]. Karakteristik frekuensi cutoff pada filter RC pasif juga menjadi parameter penting dalam menentukan frekuensi sinyal yang dapat dilewatkan [9], [11]. Selain itu, perbandingan kinerja low pass filter pasif dan aktif telah diterapkan pada pengkondisian sinyal suhu [11].

Penggunaan rangkaian pengkondisi sinyal berbasis operational amplifier juga telah diterapkan pada sensor suhu untuk sistem HVAC [12]. Pengembangan penguat instrumentasi untuk sensor suhu presisi berbasis IC op-amp ganda juga menunjukkan pentingnya proses penguatan dalam memperoleh sinyal sensor yang sesuai dengan kebutuhan sistem pengukuran [12],[13]. Dengan demikian, penguatan dan penyaringan merupakan dua tahapan penting dalam proses pengkondisian sinyal sensor suhu.

Meskipun berbagai penelitian telah membahas penggunaan LM35 untuk monitoring temperatur, penguat non-inverting, low pass filter, serta pengkondisian sinyal berbasis operational amplifier, masih diperlukan suatu rancangan yang mengintegrasikan fungsi penguatan dan penyaringan dalam rangkaian yang sederhana untuk aplikasi monitoring temperatur ruang server [5]. Selain itu, perbedaan karakteristik antara rangkaian ideal pada simulasi dan rangkaian aktual pada hardware perlu diperhatikan. Toleransi komponen dapat memengaruhi akurasi penguat non-inverting berbasis LM358 [13], sedangkan perbedaan hasil simulasi dan implementasi hardware dapat menghasilkan nilai error akibat karakteristik komponen dan kondisi pengukuran [14], [15]. Stabilitas rangkaian penguat juga dapat dipengaruhi oleh variasi tegangan catu daya [16], [17].

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini menawarkan integrasi **low pass filter dan penguat non-inverting berbasis IC LM358** sebagai rangkaian pengkondisi sinyal sensor suhu LM35. Rangkaian dirancang menggunakan penguatan sebesar 10 kali dan low pass filter dengan frekuensi cutoff sekitar 100 Hz. Rancangan terlebih dahulu diverifikasi melalui simulasi Proteus sebelum diimplementasikan dalam bentuk hardware. Penggunaan simulasi sebagai tahap verifikasi memungkinkan rancangan rangkaian dievaluasi sebelum dilakukan implementasi fisik [17]. Selanjutnya, hasil simulasi dibandingkan dengan hasil pengukuran hardware untuk mengetahui tingkat kesesuaian dan penyimpangan yang terjadi.

Keterbaruan penelitian ini terletak pada **integrasi penguat non-inverting dengan gain 10 kali dan low pass filter dengan cutoff sekitar 100 Hz menggunakan IC LM358 untuk pengkondisian sinyal LM35, yang divalidasi melalui tiga tahapan, yaitu perhitungan teoritis, simulasi Proteus, dan pengujian hardware**. Pendekatan tersebut memungkinkan kinerja rangkaian dianalisis secara menyeluruh mulai dari kesesuaian terhadap teori hingga performanya pada implementasi aktual.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk **merancang, mensimulasikan, dan menguji secara hardware rangkaian pengkondisi sinyal sensor suhu LM35 menggunakan low pass filter dan penguat non-inverting berbasis IC LM358 untuk aplikasi monitoring temperatur ruang server**. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan temperatur, mengukur tegangan keluaran sensor dan tegangan keluaran setelah penguatan, serta membandingkan hasil simulasi dan hardware terhadap perhitungan teoritis. Hasil perbandingan digunakan untuk mengetahui linearitas keluaran, kesesuaian kinerja rangkaian, dan persentase error yang dihasilkan.

II. METODE PENELITIAN

A. Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan tahapan yang meliputi perancangan rangkaian, perhitungan parameter komponen, simulasi menggunakan Proteus, implementasi perangkat keras, pengujian pada variasi temperatur, serta analisis hasil pengukuran. Secara umum, tahapan penelitian dilakukan secara berurutan mulai dari perancangan hingga evaluasi kinerja rangkaian berdasarkan perbandingan hasil teoritis, simulasi, dan hardware [18], [19].

Tahap pertama adalah menentukan spesifikasi rangkaian pengkondisi sinyal. Sensor LM35 digunakan sebagai sensor temperatur, sedangkan IC LM358 digunakan sebagai penguat operasional. Rangkaian pengkondisi sinyal terdiri atas **low pass filter (LPF) pasif** dan **penguat non-inverting**. Penguat dirancang dengan gain sebesar 10 kali, sedangkan LPF dirancang dengan frekuensi cutoff sekitar 100 Hz.

Tahap kedua adalah menentukan nilai komponen berdasarkan persamaan teoritis. Penguatan penguat non-inverting ditentukan menggunakan persamaan:

$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_{in}}$$

dengan (A_v) merupakan faktor penguatan tegangan, (R_f) merupakan resistor umpan balik, dan (R_{in}) merupakan resistor pengatur penguatan. Untuk memperoleh penguatan 10 kali digunakan ($R_f=90,k\Omega$) dan ($R_{in}=10,k\Omega$), sehingga:

$$A_v = 1 + \frac{90}{10} = 10$$

Selanjutnya, frekuensi cutoff low pass filter RC ditentukan menggunakan persamaan:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Dengan menggunakan ($R=15,9,k\Omega$) dan ($C=100,nF$), diperoleh frekuensi cutoff mendekati 100 Hz. Nilai komponen tersebut kemudian digunakan secara konsisten pada tahap simulasi dan implementasi hardware. Rangkaian yang digunakan terdiri atas sensor LM35, LPF RC, dan penguat non-inverting berbasis LM358.

B. Perancangan Sistem

Sinyal keluaran sensor LM35 digunakan sebagai masukan rangkaian pengkondisi sinyal. Karena keluaran sensor memiliki sensitivitas sebesar 10 mV/°C, sinyal terlebih dahulu dilewatkan melalui low pass filter untuk meredam komponen frekuensi tinggi. Sinyal hasil penyaringan selanjutnya diberikan ke penguat non-inverting berbasis LM358 dengan penguatan 10 kali.

Secara umum, alur pengolahan sinyal pada penelitian ini adalah:

LM35 → Low Pass Filter → Penguat Non-Inverting LM358 → Tegangan Output

Tegangan keluaran sensor sebelum penguatan dinyatakan sebagai (V_{LM35}), sedangkan tegangan keluaran akhir setelah proses pengkondisian sinyal dinyatakan sebagai (V_{out}). Hubungan teoritis antara keduanya dapat dinyatakan sebagai:

$$V_{out} = A_v \times V_{LM35}$$

Dengan penguatan ($A_v=10$), maka:

$$V_{out}=10.V_{LM35}$$

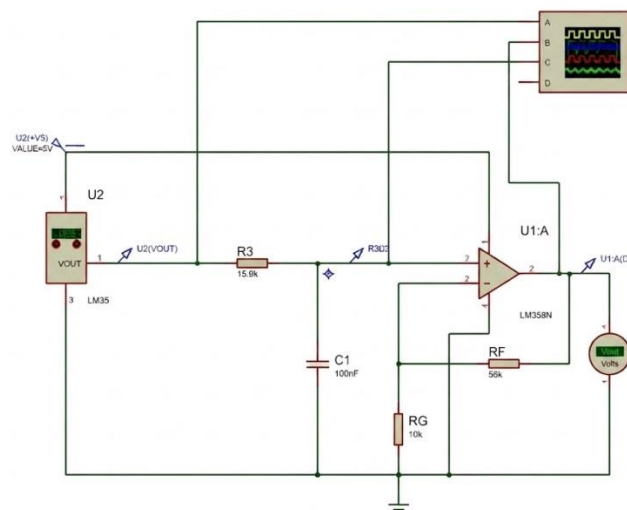
Rangkaian dirancang agar perubahan temperatur menghasilkan perubahan tegangan keluaran yang dapat diamati dan diukur dengan lebih mudah.

C. Simulasi Menggunakan Proteus

Tahap simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Proteus untuk memverifikasi rancangan sebelum rangkaian direalisasikan dalam bentuk hardware. Rangkaian simulasi terdiri atas sensor LM35, resistor dan kapasitor sebagai low pass filter, serta IC LM358 sebagai penguat non-inverting. Proteus digunakan untuk mengamati tegangan keluaran sensor dan tegangan keluaran setelah proses penguatan.

Pada simulasi, temperatur divariasikan pada rentang 24°C – 28°C . Untuk setiap variasi temperatur dicatat nilai (V_{LM35}) dan (V_{out}). Pengukuran tegangan dilakukan menggunakan voltmeter pada titik keluaran rangkaian, sedangkan bentuk sinyal diamati menggunakan virtual oscilloscope untuk mengetahui kestabilan dan kemungkinan distorsi sinyal.

Data hasil simulasi selanjutnya digunakan sebagai pembandingan terhadap hasil perhitungan teoritis dan hasil pengujian hardware.



Gambar 1. Rangkaian Simulasi Proteus Sistem Pengkondisi Sinyal Sensor Suhu LM35

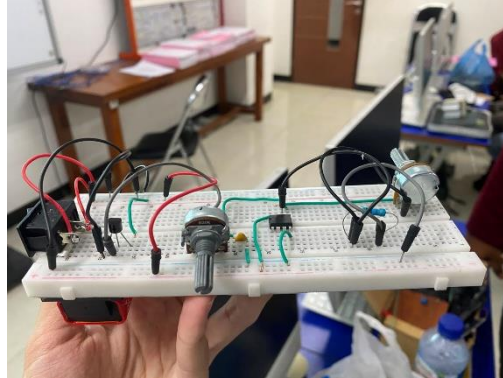
Pada rangkaian tersebut, sensor LM35 menghasilkan tegangan sebesar $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ yang merepresentasikan suhu lingkungan yang terukur. Tegangan keluaran sensor terlebih dahulu dilewatkan melalui low pass filter yang tersusun atas resistor $R3 = 15,9 \text{ k}\Omega$ dan kapasitor $C1 = 100 \text{ nF}$ untuk meredam derau frekuensi tinggi sebelum sinyal dikuatkan. Selanjutnya, sinyal yang telah difilter dimasukkan ke penguat non-inverting berbasis IC LM358 dengan resistor umpan balik $R_f = 90 \text{ k}\Omega$ dan resistor $R_g = 10 \text{ k}\Omega$ sehingga diperoleh penguatan sebesar 10 kali. Tegangan keluaran akhir rangkaian diukur menggunakan voltmeter, sedangkan bentuk gelombang sinyal pada setiap titik pengukuran diamati secara visual melalui virtual oscilloscope untuk memastikan tidak terjadi distorsi maupun ketidakstabilan sinyal.

D. Implementasi Hardware

Setelah rancangan dinyatakan sesuai berdasarkan hasil simulasi, rangkaian direalisasikan dalam bentuk hardware menggunakan komponen yang memiliki nilai sama dengan rancangan simulasi. Implementasi terdiri atas sensor LM35, resistor dan kapasitor LPF, serta IC LM358 sebagai penguat non-inverting.

Rangkaian dirakit pada breadboard dengan konfigurasi yang sama seperti rangkaian simulasi. Pengukuran tegangan dilakukan menggunakan multimeter digital, sedangkan bentuk sinyal keluaran diamati menggunakan osiloskop. Penggunaan alat ukur tersebut bertujuan untuk memperoleh nilai tegangan keluaran sekaligus memastikan kestabilan sinyal pada rangkaian aktual.

Pengujian hardware dilakukan pada rentang temperatur 25°C – 29°C . Pada setiap kondisi temperatur dicatat nilai tegangan keluaran sensor (V_{LM35}) dan tegangan keluaran rangkaian (V_{out}). Data hasil pengujian hardware kemudian dibandingkan dengan data simulasi pada rentang temperatur yang sama.



Gambar 2. Rangkaian Hardware Sistem Pengkondisi Sinyal Sensor Suhu LM35

E. Pengambilan dan Pengolahan Data

Data penelitian terdiri atas tiga kelompok, yaitu:

1. **Data teoritis**, berupa nilai tegangan keluaran yang dihitung berdasarkan karakteristik sensor LM35 dan penguatan rangkaian.
2. **Data simulasi**, berupa nilai (V_{LM35}) dan (V_{out}) hasil simulasi Proteus.
3. **Data hardware**, berupa nilai (V_{LM35}) dan (V_{out}) hasil pengukuran rangkaian aktual.

Parameter yang diamati meliputi temperatur, tegangan keluaran sensor, tegangan keluaran rangkaian, dan penguatan tegangan.

Kesesuaian antara hasil pengukuran dan simulasi dianalisis menggunakan persentase error. Persamaan error yang digunakan adalah:

$$\text{Error}(\%) = \left| \frac{\text{Nilai Pengukuran} - \text{Nilai Simulasi}}{\text{Nilai}_{\text{Simulasi}}^{\text{pengukuran}}} \right| \times 100\%$$

Analisis error dilakukan pada rentang temperatur yang sama antara simulasi dan hardware, yaitu 25°C – 28°C . Persamaan tersebut digunakan untuk mengetahui besarnya penyimpangan tegangan keluaran hardware terhadap hasil simulasi.

Selain analisis error, hubungan antara temperatur dan tegangan keluaran dianalisis untuk mengetahui karakteristik linearitas rangkaian. Kinerja rangkaian dinilai berdasarkan tiga aspek utama, yaitu:

1. kesesuaian nilai penguatan terhadap rancangan 10 kali;
2. kesesuaian frekuensi cutoff LPF terhadap rancangan sekitar 100 Hz; dan
3. kesesuaian tegangan keluaran hardware terhadap hasil simulasi dan perhitungan teoritis.

F. Kriteria Evaluasi

Hasil penelitian dievaluasi dengan membandingkan tiga kondisi, yaitu hasil perhitungan teoritis, hasil simulasi Proteus, dan hasil pengukuran hardware. Rangkaian dinyatakan bekerja sesuai rancangan apabila tegangan keluaran menunjukkan kecenderungan meningkat secara linear terhadap kenaikan temperatur dan nilai penguatan mendekati nilai rancangan.

Perbedaan antara simulasi dan hardware dianalisis berdasarkan nilai persentase error pada setiap variasi temperatur. Analisis tersebut juga digunakan untuk mengidentifikasi penyimpangan yang berkaitan dengan kondisi komponen aktual, toleransi resistor, karakteristik sensor, offset operational amplifier, catu daya, dan ketelitian alat ukur sebagaimana diamati pada tahap pengujian hardware.

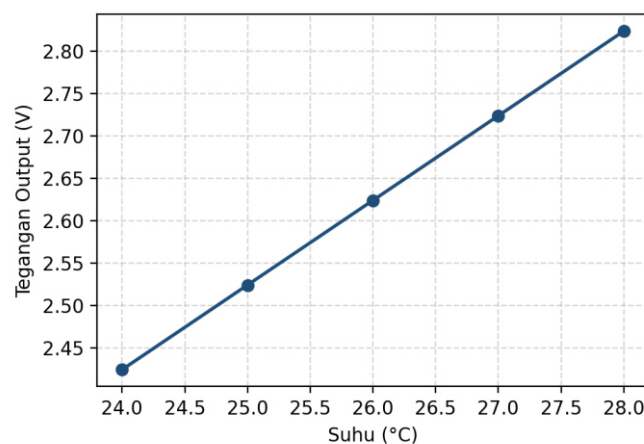
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Pengujian simulasi dilakukan dengan memvariasikan suhu masukan pada rentang Simulasi dilakukan pada 24–28°C, sedangkan hardware pada 25–29°C. Perbandingan langsung antara simulasi dan hardware dilakukan pada rentang temperatur yang sama, yaitu 25–28°C melalui parameter sensor LM35 pada perangkat lunak Proteus. Hasil pengukuran tegangan keluaran sensor (VLM35) dan tegangan keluaran rangkaian setelah dikuatkan (Vout) untuk setiap variasi suhu ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Simulasi Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Suhu (°C)	VLM35 (V)	Gain	Vout (V)
24	0,2417	10	2,424
25	0,2517	10	2,524
26	0,2617	10	2,624
27	0,2717	10	2,724
28	0,2817	10	2,824



Gambar 3. Grafik Hubungan Suhu Terhadap Tegangan Output Hasil Simulasi

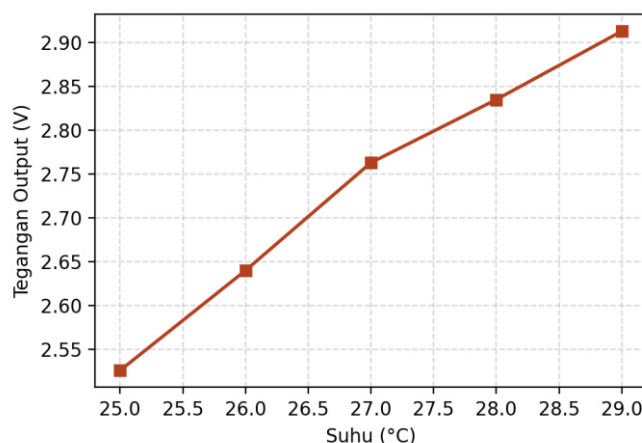
Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 3, terlihat bahwa tegangan keluaran rangkaian meningkat secara linier seiring dengan kenaikan suhu yang disimulasikan. Pada suhu 24°C diperoleh tegangan keluaran sebesar 2,424 V, dan meningkat secara konsisten hingga mencapai 2,824 V pada suhu 28°C. Kenaikan tegangan keluaran untuk setiap kenaikan 1°C berkisar pada 0,1 V, yang sesuai dengan hasil perkalian antara keluaran sensor sebesar 10 mV/°C dengan penguatan sebesar 10 kali. Hal ini membuktikan bahwa rangkaian penguat non-inverting yang disimulasikan

bekerja sesuai dengan perhitungan teoretis dan menghasilkan penguatan yang mendekati nilai rancangan, yaitu 10 kali.

Pengujian hardware dilakukan dengan prosedur yang sama seperti pengujian simulasi, yaitu dengan memvariasikan suhu lingkungan pengujian pada rentang 25°C hingga 29°C dan mencatat tegangan keluaran sensor serta tegangan keluaran rangkaian menggunakan multimeter digital. Hasil pengujian hardware ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Hardware Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Suhu (°C)	VLM35 (V)	Gain	Vout (V)
25	0,2493	10	2,526
26	0,2608	10	2,640
27	0,2731	10	2,763
28	0,2804	10	2,835
29	0,2882	10	2,913



Gambar 4. Grafik Hubungan Suhu Terhadap Tegangan Output Hasil Pengujian Hardware

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 4, hasil pengujian hardware juga menunjukkan pola kenaikan tegangan keluaran yang linier terhadap kenaikan suhu, dari 2,526 V pada suhu 25°C hingga 2,913 V pada suhu 29°C. Pola kenaikan ini konsisten dengan hasil simulasi maupun perhitungan teoretis, meskipun terdapat sedikit perbedaan nilai yang akan dibahas lebih lanjut pada bagian pembahasan.

Tabel 3. Hasil Pengujian

No.	Pengujian	Hasil Pengukuran
1.	1	
2.	2	

3.	3	
4.	4	
5.	5	

B. PEMBAHASAN

Perbandingan antara hasil simulasi dan hasil pengujian hardware pada rentang suhu yang sama (25°C hingga 28°C) menunjukkan bahwa nilai tegangan keluaran hardware sedikit lebih tinggi dibandingkan hasil simulasi, meskipun pola kenaikannya tetap linier dan konsisten. Perbedaan ini merupakan hal yang wajar terjadi pada implementasi rangkaian elektronika analog dan dapat disebabkan oleh beberapa faktor.

Pertama, toleransi resistor yang digunakan pada rangkaian hardware, baik pada resistor umpan balik Rf dan Rg maupun resistor filter R3, umumnya memiliki toleransi sebesar 1-5% dari nilai nominalnya sehingga penguatan aktual dapat sedikit berbeda dari nilai rancangan. Kedua, karakteristik aktual sensor LM35 pada kondisi hardware dapat mengalami sedikit deviasi dari datasheet akibat variasi proses produksi maupun kondisi pengukuran di lapangan. Ketiga, IC LM358 memiliki tegangan offset masukan (input offset voltage) yang menyebabkan sedikit pergeseran nilai keluaran dari kondisi ideal yang diasumsikan pada simulasi. Keempat, fluktuasi tegangan catu daya pada rangkaian hardware turut memengaruhi stabilitas titik kerja op-amp, berbeda dengan simulasi yang menggunakan sumber tegangan ideal dan konstan. Kelima, ketelitian alat ukur multimeter digital yang digunakan pada pengujian hardware juga memberikan kontribusi kecil terhadap perbedaan nilai yang terbaca dibandingkan hasil pengukuran virtual pada simulasi.

Meskipun terdapat beberapa faktor penyebab tersebut, perbedaan nilai antara hasil simulasi dan hardware yang diperoleh masih tergolong kecil dan berada dalam batas kewajaran untuk rangkaian elektronika analog berbasis komponen diskrit, sehingga tidak mengurangi validitas rangkaian pengkondisi sinyal yang dirancang.

Untuk mengetahui besarnya penyimpangan hasil pengujian hardware terhadap hasil simulasi secara kuantitatif, dilakukan perhitungan persentase error menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Error}(\%) = \left| \frac{\text{Nilai Pengukuran} - \text{Nilai Simulasi}}{\text{Nilai}_{\text{pengukuran}}^{\text{Simulasi}}} \right| \times 100\%$$

Perhitungan error dilakukan pada rentang suhu yang tumpang tindih antara data simulasi dan data hardware, yaitu pada suhu 25°C hingga 28°C. Hasil perhitungan error untuk setiap titik suhu ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 4. Hasil Analisis Error Tegangan Output Hardware Terhadap Simulasi

Suhu (°C)	Vsimulasi (V)	Vhardware (V)	Error (%)
25	2,524	2,526	0,08
26	2,624	2,640	0,61
27	2,724	2,763	1,43
28	2,824	2,835	0,39

Berdasarkan Tabel 3, diperoleh nilai error tertinggi sebesar 1,43% pada suhu 27°C dan error terendah sebesar 0,08% pada suhu 25°C, dengan rata-rata persentase error keseluruhan sebesar 0,63%. Nilai rata-rata error yang berada di bawah 1% menunjukkan bahwa rangkaian pengkondisi sinyal yang diimplementasikan pada hardware memiliki akurasi yang tinggi dan sangat mendekati hasil simulasi maupun perhitungan teoretis. Dengan demikian, tingkat error yang diperoleh masih tergolong layak dan dapat diterima untuk aplikasi monitoring temperatur ruang server, mengingat toleransi pengukuran suhu pada aplikasi tersebut umumnya masih memberi ruang untuk deviasi kecil tanpa memengaruhi keputusan operasional yang diambil berdasarkan data suhu tersebut.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merancang, mensimulasikan, dan menguji secara hardware rangkaian pengkondisi sinyal sensor suhu LM35 yang menggabungkan low pass filter dengan frekuensi cutoff sekitar 100 Hz dan penguat non-inverting berbasis IC LM358 dengan penguatan sebesar 10 kali untuk aplikasi monitoring temperatur ruang server. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa penggunaan resistor Rf = 90 kΩ dan Rg = 10 kΩ menghasilkan penguatan sebesar 10 kali sesuai rancangan, sedangkan penggunaan resistor R = 15,9 kΩ dan kapasitor C = 100 nF menghasilkan frekuensi cutoff mendekati 100 Hz. Hasil pengujian, baik pada simulasi Proteus maupun pada implementasi hardware, menunjukkan bahwa tegangan keluaran rangkaian meningkat secara linier terhadap kenaikan suhu, dengan pola kenaikan yang konsisten dan sesuai dengan perhitungan teoretis. Perbandingan antara

hasil simulasi dan hardware menunjukkan rata-rata persentase error sebesar 0,63%, yang mengindikasikan bahwa perbedaan akibat toleransi komponen, karakteristik aktual sensor, offset op-amp, fluktuasi catu daya, dan ketelitian alat ukur masih berada pada batas yang wajar. Dengan demikian, rangkaian pengkondisi sinyal yang dirancang dalam penelitian ini terbukti layak dan dapat diandalkan untuk diimplementasikan sebagai bagian dari sistem monitoring temperatur ruang server.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. M. Yusuf and F. Pratama, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu Dan Kelembaban Ruang Server Berbasis Iot Menggunakan Arduino Pada Pt Bintaro Serpong Damai," vol. VII, no. September, pp. 15–22, 2023.
- [2] A. K. Wardana, "Prototype Monitoring Suhu Dan Kelembaban Pada Ruang Server Di RSU PKU Muhammadiyah Sragen Berbasis Internet Of Things," vol. 15, no. 2, pp. 454–463, 2025.
- [3] R. Pratama, M. Z. Siambaton, and T. Haramaini, "Implementasi Internet of Things pada Sistem Kendali Suhu dan Kelembaban Rak Server Berbasis Mikrokontroler," 2022.
- [4] A. Mobile *et al.*, "Sistem monitoring suhu dan kelembapan berbasis," vol. 11, no. 2, pp. 2868–2881, 2026.
- [5] D. Information, "LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors," 2017.
- [6] S. Diodes, D. Applications, B. J. Transistors, and F. Transistors, *No Title*.
- [7] S. Franco, "Design with Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits – 4 th Edition Detailed Table of Contents," pp. 4–7, 2015.
- [8] Y. Bramantyo, M. Baskoro, F. Baskoro, and E. H. Siswanto, "Optimasi Akurasi dan Peningkatan Kualitas Data Sensor Temperatur pada Electronic Volume Corrector (EVC) MiniElcor Menggunakan Metode Filtering dan Pemodelan Data Optimization of Accuracy and Improvement of Temperature Sensor Data Quality on MiniElcor Electronic Volume Corrector (EVC) Using Filtering and Data Modeling Methods," vol. 14, no. 1, 2026.
- [9] H. Fu, Y. Li, and Q. Zhuo, "Research on the Passive and Active Low Pass Filters," vol. 46, pp. 260–265, 2023.
- [10] A. F. Ibadillah, Y. Erari, D. Rahmawati, A. K. Saputro, and M. F. Fahmi, "Rancang Bangun Modul Pemrosesan Sinyal Digital Low Pass Filter dan High Pass Filter," pp. 81–88.
- [11] I. Applications, H. Shin, Y. Kim, and S. Member, "A CMOS Active- RC Low-Pass Filter With Simultaneously Tunable High- and Low-Cutoff," vol. 57, no. 2, pp. 85–89, 2010.
- [12] F. D. Yulianto, F. Aissyah, and S. Indrawati, "Operational Amplifier (I5)," pp. 1–7.
- [13] I. Ihza and E. Mandayatma, "Pengkondisi RTD Dengan Kompensasi 4 Wire," vol. 8, 2021.
- [14] I. Industri, J. T. Elektro, F. Teknik, and U. Tadulako, "INVERTING DAN NON INVERTING," 2020.
- [15] S. Hadi *et al.*, "PERBANDINGAN AKURASI PENGUKURAN SENSOR LM35 DAN SENSOR DHT11 UNTUK MONITORING SUHU BERBASIS INTERNET," vol. 6, no. 3, 2022.
- [16] A. Y. Pratama, A. Y. Pratama, F. Ferdian, and D. Setiawan, "TRAINING OF TEMPERATURE MONITORING SYSTEM WITH LM35 SENSOR BASED ON RESBEERY PI," vol. 1, no. 12, pp. 455–462, 2024.
- [17] F. Ibnu and A. Endang, "Pengaruh Variasi Kapasitor Terhadap Perbaikan Faktor Daya dan Stabilitas Tegangan Pada Sistem Elektronika," vol. 2, no. 2, pp. 71–77, 2025.
- [18] P. Pcb, D. Tools, and S. Features, "PCB Design Level 1," pp. 1–2.
- [19] I. B. Help, "PROTEUS DESIGN IoT Builder Help".