

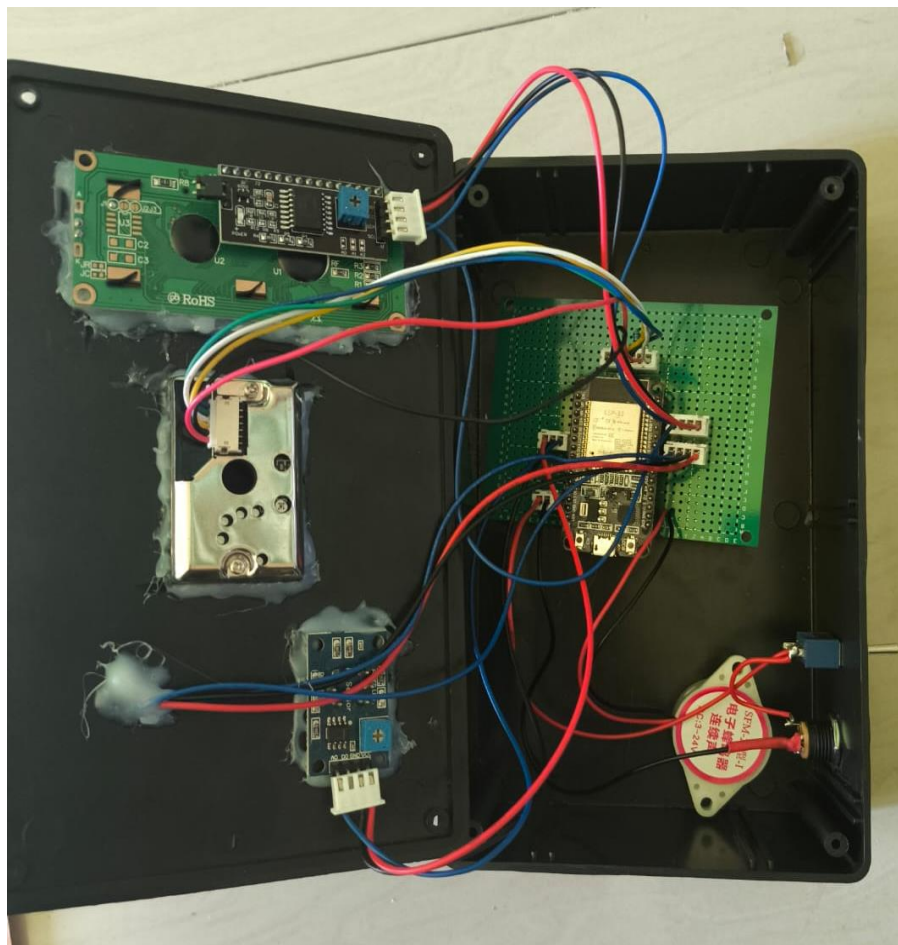
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan

Setelah proses perancangan diselesaikan, sistem monitoring kualitas udara berbasis ESP32 dengan fitur notifikasi Telegram berhasil diimplementasikan sesuai dengan desain yang telah direncanakan. Hasil dari perancangan ini mencakup realisasi perangkat keras, desain mekanik alat, serta pengembangan perangkat lunak yang digunakan untuk membaca, mengolah, menampilkan, dan mengirimkan data kualitas udara secara real-time.

4.1.1 Hasil Perancangan Elektronik



Gambar 4. 1 Hasil Perancangan Elektronik

Hasil perancangan elektronik dilakukan dengan mengintegrasikan mikrokontroler ESP32, sensor MQ-135, sensor SHT30, sensor debu, LCD 16×2, buzzer, serta catu daya menjadi satu sistem yang saling terhubung. ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali yang bertugas menerima, mengolah, dan mengirimkan data hasil pembacaan dari seluruh sensor. Data kualitas udara, suhu, kelembapan, serta tingkat partikel debu ditampilkan melalui LCD dan dikirimkan melalui notifikasi Telegram. Buzzer digunakan sebagai indikator peringatan ketika kondisi kualitas udara berada di luar batas aman yang telah ditentukan. Sensor bekerja dengan mendeteksi perubahan kondisi lingkungan secara real-time sehingga sistem mampu memberikan informasi kondisi udara secara cepat dan akurat.

4.1.2 Hasil Perancangan Mekanik

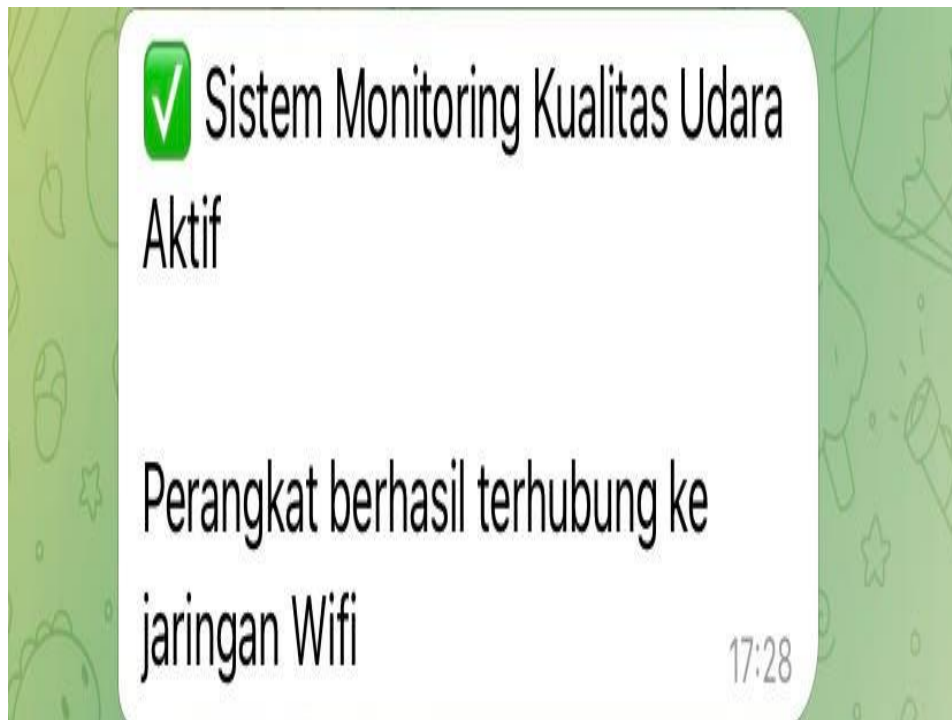
Perancangan mekanik dilakukan dengan menempatkan seluruh komponen ke dalam sebuah box panel sebagai wadah utama sistem. Pada bagian depan box dipasang LCD 16×2 serta area sensor agar proses pemantauan dapat dilakukan dengan mudah. Sementara itu, ESP32, rangkaian catu daya, dan komponen pendukung lainnya ditempatkan di bagian dalam box untuk menjaga keamanan dan melindungi komponen dari kerusakan. Hasil perancangan mekanik menghasilkan perangkat yang ringkas, mudah digunakan, serta mendukung proses monitoring kualitas udara secara real-time baik melalui tampilan langsung maupun notifikasi Telegram.



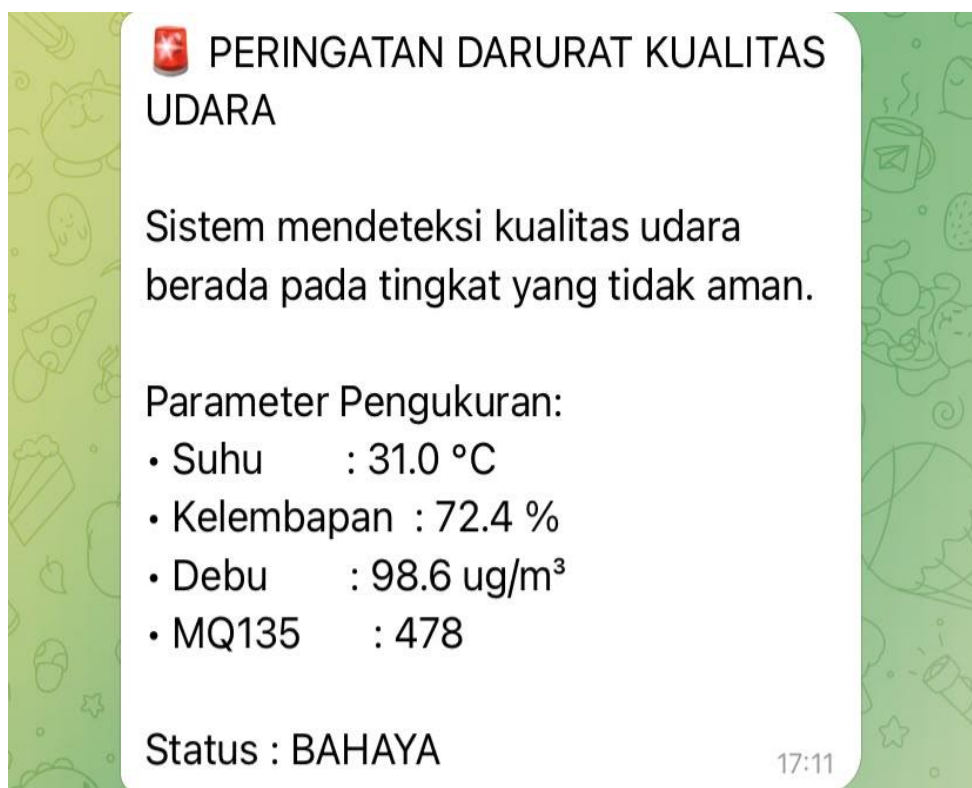
Gambar 4. 2 Tampak Atas Keseluruhan Alat

4.2 Visualisasi Internet of Things (IoT) Berbasis Telegram

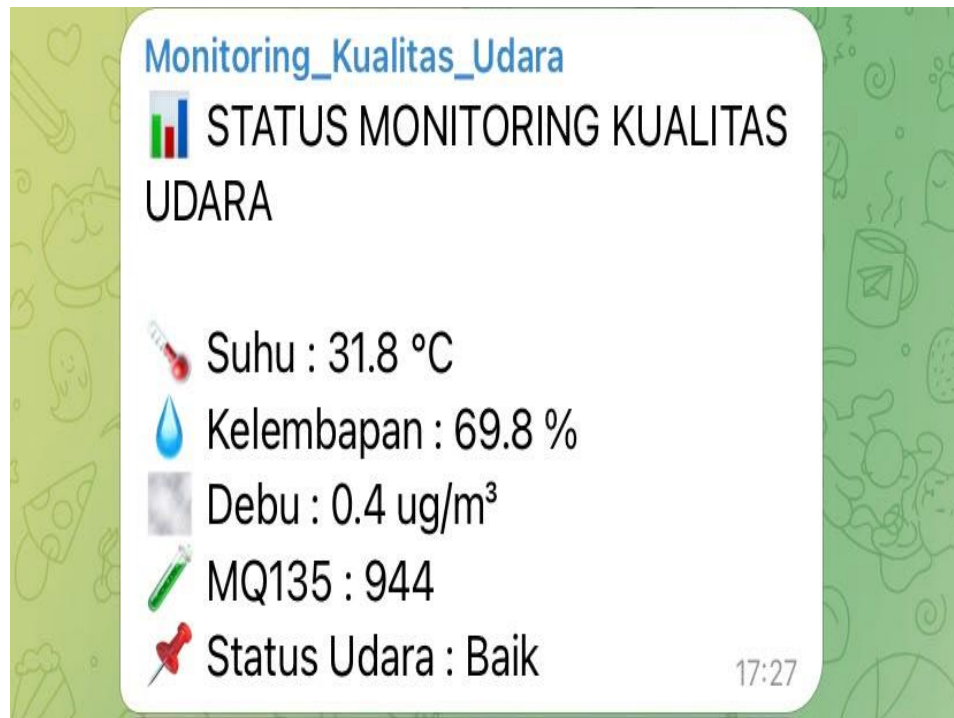
Visualisasi ini menampilkan bentuk dan susunan pesan yang diterima pengguna secara real-time melalui aplikasi Telegram, sekaligus menjadi indikator bahwa sistem telah beroperasi sesuai dengan rancangan yang dibuat. Penggunaan Telegram dipilih karena mampu mendukung proses komunikasi data yang cepat, efektif, serta mudah diakses oleh pengguna. Tampilan visualisasi pada Telegram mencakup kondisi saat sistem mulai terhubung ke jaringan wifi, mengirim notifikasi peringatan bahaya dan hasil yang diperoleh setelah proses pengukuran kualitas udara dilakukan. Hasil visualisasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.3, Gambar 4.4, dan Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4. 3 Visualisasi awal mulai sistem Terhubung ke wifi pada Telegram



Gambar 4. 4 Visualisasi saat mengirim notifikasi peringatan bahaya Pada Telegram



Gambar 4. 5 Visualisasi saat Status Kualitas udara Baik Pada Telegram

Pengambilan data dilakukan selama enam hari, dimulai dari hari Senin sampai dengan Sabtu. Pengambilan data dilakukan selama 4 kali kecuali ada notifikasi bahaya, Parameter yang diamati meliputi suhu, kelembapan, kadar gas/asap (MQ-135), dan konsentrasi debu (PM). Data diambil pada lokasi pengujian yang sama yaitu pada kamar yang tidak terpakai lagi dan dialihfungsikan menjadi gudang penyimpanan untuk memperoleh hasil pengamatan yang konsisten.

4.2.1 Data Hari Senin

Tabel 4. 1 Data Hari Senin

Waktu	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Gas (PPM)	Debu (µg/m ³)
09.00	31.8	69.8	944	0.4
12.00	32.4	67.6	812	0.2
16.00	31.2	68.2	954	2.3

21.00	30.8	71.3	924	0.0
Rata-rata	31.55	69.23	908.5	0.73

Pembahasan Hari Senin

Berdasarkan hasil pengukuran pada hari Senin, suhu tertinggi terjadi pada siang hari (12.00) mencapai 32.4°C yang berbanding lurus dengan penurunan kelembapan hingga titik terendah sebesar 67.6%. Secara keseluruhan, rata-rata harian menunjukkan suhu berada pada 31.55°C dengan kelembapan rata-rata sebesar 69.23%. Sementara itu, kadar gas harian rata-rata tercatat cukup tinggi sebesar 908.5 PPM, sedangkan akumulasi debu rata-rata berada pada angka 0.73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Secara umum, seluruh nilai pada hari Senin ini masih berada dalam kategori normal dan aman.

4.2.2 Data Hari Selasa

Tabel 4. 2 Data hari selasa

Waktu	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Gas (PPM)	Debu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
09.00	32.8	67.6	657	0.0
12.00	33.6	59.4	432	2.3
16.00	32.5	67.0	784	3.4
21.00	32.0	69.7	416	3.1
Rata-rata	32.73	65.93	572.25	2.20

Pembahasan Hari Selasa

Pada hari Selasa terjadi peningkatan suhu pada siang hari mencapai 33.6°C yang memicu penurunan kelembapan hingga titik terendah sebesar 59.4%. Secara keseluruhan, rata-rata harian menunjukkan suhu berada pada 32.73°C dengan kelembapan 65.93%. Sementara itu, kadar gas rata-rata tercatat sebesar 572.25 PPM dan debu sebesar 2.20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, di mana kedua nilai parameter tersebut masih berada pada kategori normal.

4.2.3 Data Hari Rabu

Tabel 4. 3 Data Hari Rabu

Waktu	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Gas (PPM)	Debu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
09.00	28.0	75.5	891	1.4
12.00	33.9	65.4	388	2.0
16.00	31.3	70.9	417	0.6
21.00	30.9	70.8	464	0.2
Rata-rata	31.03	70.65	540.0	1.05

Pembahasan Hari Rabu

Pada hari Rabu terjadi peningkatan suhu pada siang hari mencapai 33.9°C, diikuti oleh penurunan kelembapan hingga 65.4%. Kadar gas tertinggi terjadi pada pagi hari (891 PPM) dan menurun signifikan setelahnya. Secara keseluruhan, nilai rata-rata harian untuk suhu (31.03°C), kelembapan (70.65%), gas (540.0 PPM), serta debu (1.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) masih berada dalam kategori normal dan aman.

4.2.4 Data Hari Kamis

Tabel 4. 4 Data Hari Kamis

Waktu	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Gas (PPM)	Debu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
09.00	31.5	68.3	474	1.2
12.00	31.4	51.4	409	0.0
16.00	31.9	66.2	561	2.3
21.00	30.1	73.1	592	0.6
Rata-rata	31.23	64.75	509.0	1.04

Pembahasan Hari Kamis

Berdasarkan hasil pengukuran pada hari Kamis, suhu tertinggi tercatat pada sore hari (16.00) sebesar 31.9°C, sementara tingkat kelembapan udara mencapai titik terendah pada siang hari (12.00) sebesar 51.4%. Secara keseluruhan, rata-rata

harian menunjukkan suhu berada pada 31.23°C dengan kelembapan 64.75%. Untuk parameter gas dan debu harian masing-masing memiliki nilai rata-rata sebesar 509.0 PPM dan 1.04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, di mana kondisi kedua parameter ini masih dikategorikan normal dan aman.

4.2.5 Data Hari Jumat

Tabel 4. 5 Data Hari Jumat

Waktu	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Gas (PPM)	Debu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
09.00	28.4	68.2	824	1.2
12.00	32.2	67.9	924	0.0
16.00	30.0	72.1	432	1.4
21.00	30.9	70.8	568	2.1
Rata-rata	30.38	69.75	687.0	1.18

Pembahasan Hari Jumat

Pada hari jumat tidak terjadi peningkatan suhu secara signifikan. Kelembapan sedikit tinggi dikarenakan Ruangan Tertutup Rapat dan di sertai hujan, tapi kondisi kualitas udara masih tergolong baik. Secara keseluruhan, rata-rata harian menunjukkan suhu berada pada 30.38°C dan kelembapan sebesar 69.75%. Sementara itu, rata-rata kadar gas harian tercatat sebesar 687.0 PPM dan akumulasi debu berada pada angka yang sangat rendah, yaitu 1.18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sehingga seluruh parameter lingkungan dipastikan berada dalam kategori aman.

4.2.6 Data Hari Sabtu

Tabel 4. 6 Data Hari Sabtu

Waktu	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Gas (PPM)	Debu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
09.00	29.9	76.1	535	5.3
12.00	31.5	72.5	598	0.0
16.00	33.1	68.1	415	5.6

21.00	30.4	65.2	512	3.2
Rata-rata	31.23	70.48	515.0	3.03

Pembahasan Hari Sabtu

Pada hari Sabtu tidak terjadi peningkatan suhu secara signifikan. Kelembapan udara mengalami penurunan secara bertahap seiring waktu, dari titik tertinggi sebesar 76.1% pada pagi hari menjadi 65.2% pada malam hari. Secara keseluruhan, rata-rata harian menunjukkan suhu berada pada 31.23°C dan kelembapan rata-rata sebesar 70.48%. Sementara itu, kadar gas harian rata-rata tercatat sebesar 515.0 PPM dengan nilai tertinggi terjadi pada siang hari (598 PPM). Akumulasi debu harian rata-rata berada pada angka 3.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Secara umum, kondisi seluruh parameter lingkungan pada hari Sabtu ini masih tergolong baik dan berada dalam kategori aman.

4.3 Analisis Hasil Pengamatan Selama Enam Hari

Tabel 4. 7 Rekapitulasi Data Mingguan

Hari	Rata-rata Suhu	Rata-rata Kelembapan	Rata-rata Gas	Rata-rata Debu
Senin	31.55 °C	69.23 %.	908.5 ppm	0.73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Selasa	32.73 °C	65.93 %.	572.25 ppm	2.20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Rabu	31.03 °C	70.65 %.	540.0 ppm	1.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Kamis	31.23 °C	64.75 %.	509.0 ppm	1.04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Jumat	30.38 °C	69.75 %.	687.0 ppm	1.18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Sabtu	31.23 °C	70.48 %.	515.0 ppm	3.03. $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Analisis Hasil Pengamatan selama 6 hari

1. Suhu: Nilai rata-rata suhu harian bergerak stabil di rentang hangat, dengan titik terendah pada hari Jumat (30.38°C) dan titik tertinggi pada hari Selasa (32.73°C).
2. Kelembapan: Menunjukkan hubungan terbalik dengan suhu. Kelembapan udara mencapai tingkat tertinggi di hari Rabu (70.65%) saat suhu relatif rendah, dan menyentuh titik terendah pada hari Kamis (64.75%).
3. Kadar Gas: Berada di level tertinggi pada hari Senin (908.5 ppm), lalu mengalami penurunan yang cukup signifikan dan stabil di kisaran 509.0 ppm hingga 687.0 ppm pada hari-hari berikutnya.
4. Kadar Debu: Akumulasi partikel debu harian secara umum sangat rendah dan bersih. Angka paling minim tercatat pada hari Senin ($0.73\ \mu\text{g}/\text{m}^3$) dan mencapai nilai tertinggi di hari Sabtu ($3.03\ \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Pembahasan

Berdasarkan hasil rekapitulasi data mingguan pada Tabel 4.7, dapat diketahui bahwa kondisi kualitas udara pada lokasi pengujian secara umum berada dalam kategori baik dan stabil selama periode pengamatan enam hari. Rata-rata suhu udara berkisar antara 30.38°C hingga 32.73°C , di mana fluktuasi ini memicu pergerakan nilai kelembapan udara harian secara dinamis pada rentang 64.75% hingga 70.65%. Pola hubungan antara kedua parameter ini terlihat konsisten, yakni peningkatan suhu udara diikuti dengan penurunan tingkat kelembapan ruangan.

Dari aspek parameter kimia dan fisik udara, fluktuasi kadar gas dan debu rata-rata harian masih berada jauh di bawah ambang batas yang membahayakan. Kadar gas tertinggi terdeteksi di hari Senin sebesar 908.5 ppm, yang kemudian melandai dan cenderung stabil pada hari-hari berikutnya dengan rata-rata terendah sebesar 509.0 ppm di hari Kamis. Sementara itu, tingkat akumulasi debu harian bergerak konsisten pada nilai yang sangat rendah, berkisar antara $0.73\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ hingga $3.03\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Dari keseluruhan parameter yang diamati sejak hari Senin hingga Sabtu, dapat disimpulkan bahwa sirkulasi udara dan sanitasi di lokasi pengujian mampu menjaga stabilitas lingkungan dengan baik. Seluruh nilai parameter kualitas udara yang diukur memenuhi standar baku mutu kesehatan lingkungan serta dikategorikan aman dan normal untuk aktivitas sehari-hari.

4.4 Pengujian Notifikasi Telegram

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Telegram

No	Kondisi	Telegram	Delay
1	Normal	Berhasil	2 detik
2	Gas Tinggi	Berhasil	3 detik
3	Debu Tinggi	Berhasil	2 detik

4.5 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Telegram

Komponen	Status
ESP32	Berhasil
MQ-135	Berhasil
SHT30	Berhasil
Sensor Debu	Berhasil
LCD	Berhasil
Telegram	Berhasil
Buzzer	Berhasil

4.6 Perbandingan Hasil Pengukuran Suhu Sensor SHT30 dengan Termometer Digital

Tabel 4. 10 Perbandingan Hasil Pengukuran Suhu Sensor SHT30 dengan Termometer Digital

No	Termometer Digital (°C)	Sensor SHT30 (°C)	Selisih (°C)	Error (%)
1	30.0	30.2	0.2	0.67
2	30.5	30.6	0.1	0.33
3	31.0	31.2	0.2	0.65
4	31.5	31.4	0.1	0.32
5	32.0	32.1	0.1	0.31
6	32.5	32.7	0.2	0.62
7	33.0	33.1	0.1	0.30
8	33.5	33.7	0.2	0.60
9	34.0	33.9	0.1	0.29
10	34.5	34.6	0.1	0.29
Rata-rata	32.25	32.35	0.14	0.44

Rumus yang digunakan:

$$\text{Error (\%)} = \frac{\text{Sensor SHT30} - \text{Termometer}}{\text{Termometer}} \times 100\%$$

Analisis

Berdasarkan hasil pengujian, sensor SHT30 memiliki selisih pengukuran sebesar 0,1–0,2°C dibandingkan dengan termometer digital sebagai alat acuan. Nilai error berkisar antara 0,29% hingga 0,67%, dengan rata-rata error sebesar 0,44%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor SHT30 memiliki tingkat akurasi yang baik sehingga layak digunakan sebagai sensor pengukuran suhu pada sistem monitoring kualitas udara berbasis ESP32.