

IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING SUHU DAN KELEMBABAN BERBASIS IoT PADA TEMPAT PENYIMPANAN SEMEN DI SILO PT SEMEN TONASA

Yusvita Fardila¹, Yuniarti², Riesa Krisna Astuti Sakir³

Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

E-mail: [*yusvitafardila@gmail.com](mailto:yusvitafardila@gmail.com)¹

ABSTRAK

Penelitian dengan judul "Implementasi Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Berbasis IoT pada Tempat Penyimpanan Semen di Silo PT Semen Tonasa" bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring berbasis IoT guna menjaga mutu semen serta memudahkan teknisi dalam melakukan pengawasan secara real-time. Sistem dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor DHT22 pada titik top dan bottom silo, data ditampilkan melalui LCD, dikirimkan ke dashboard Node-RED menggunakan protokol MQTT, serta diintegrasikan dengan WhatsApp Bot dan indikator LED. Berdasarkan hasil pengujian, sistem terbukti stabil, real-time, dan responsif dengan rata-rata error 0,47% pada suhu dan 1,24% pada kelembaban. Hasil monitoring menunjukkan suhu silo masih berada dalam kondisi aman ($<79^{\circ}\text{C}$), sedangkan kelembaban pada beberapa periode melebihi ambang batas 65% sehingga berpotensi menurunkan mutu semen, namun secara keseluruhan sistem ini dapat meningkatkan efektivitas pengawasan mutu semen di Silo Tonasa 5.

Kata kunci

Sistem Monitoring, Iot, Penyimpanan Semen

ABSTRACT

The research, entitled "Implementation of an IoT-Based Temperature and Humidity Monitoring System in a Cement Storage Area at PT Semen Tonasa's Silo," aims to design and implement an IoT-based monitoring system to maintain cement quality and facilitate technicians in real-time monitoring. The system is designed using an ESP32 microcontroller connected to DHT22 sensors at the top and bottom of the silo. Data is displayed via LCD, sent to the Node-RED dashboard using the MQTT protocol, and integrated with a WhatsApp Bot and LED indicators. Based on test results, the system proved stable, real-time, and responsive with an average error of 0.47% for temperature and 1.24% for humidity. Monitoring results showed that the silo temperature remained within safe conditions ($<79^{\circ}\text{C}$), while humidity levels in some periods exceeded the 65% threshold, potentially reducing cement quality. However, overall, this system can improve the effectiveness of cement quality control at Silo Tonasa 5.

Keywords

Monitoring System, IoT, Cement Storage

1. PENDAHULUAN

Industri semen merupakan salah satu sektor penting dalam mendukung pembangunan infrastruktur di Indonesia. Kualitas semen yang baik sangat ditentukan oleh proses produksi hingga tahap distribusi, sehingga setiap tahapan perlu dijaga secara optimal. PT Semen Tonasa sebagai salah satu produsen semen terbesar di Indonesia berkomitmen untuk menjaga kualitas produknya agar tetap sesuai standar.

Salah satu aspek penting dalam menjaga kualitas semen adalah kondisi penyimpanan di dalam silo. Silo berfungsi sebagai tempat penyimpanan semen sebelum didistribusikan kepada konsumen. Agar kualitas semen tetap terjaga, suhu dan Kelembaban pada silo harus berada dalam kondisi yang sesuai, karena kedua parameter ini sangat memengaruhi mutu semen selama penyimpanan.

Pengelolaan silo menghadapi tantangan dalam pengendalian suhu dan Kelembaban. Kelembaban yang ideal untuk penyimpanan semen berada pada kisaran 40%–65%, apabila melebihi 65% berpotensi memicu terbentuknya coating, hidrasi awal, serta penyumbatan yang dapat menurunkan mutu semen. Sedangkan suhu penyimpanan semen sebaiknya berada di bawah 79°C. Apabila suhu mencapai 80–89°C, sistem akan memberikan status *warning* (H1), dan pada suhu 90°C atau lebih, sistem akan menampilkan status alarm (H2) yang menandakan kondisi kritis serta membutuhkan penanganan segera.

Apabila suhu atau Kelembaban telah melebihi batas yang telah ditentukan, maka teknisi melakukan serangkaian tindakan manual. Pada kondisi suhu *warning* (80–89°C), teknisi akan melakukan pemeriksaan lapangan untuk memastikan sistem ventilasi dan pendinginan berjalan normal. Jika suhu sudah memasuki status alarm, teknisi segera membuka sistem aerasi atau melakukan pendinginan tambahan agar suhu kembali stabil. Sementara itu, jika Kelembaban melebihi 65%, teknisi perlu memastikan tidak ada udara lembap masuk ke silo, melakukan pengecekan pada sistem aerasi, serta melakukan tindakan pengeringan untuk mencegah semen menggumpal.

Saat ini, sistem monitoring silo di PT Semen Tonasa sudah ada klasifikasi normal, *warning*, dan alarm. Namun, sistem tersebut masih memiliki keterbatasan yaitu, hanya dapat dipantau di ruang teknisi secara langsung sehingga pengawasan kurang efisien serta monitoring hanya berfokus pada suhu, sementara Kelembaban belum diukur dan dimonitor secara sistematis. Padahal, Kelembaban memiliki pengaruh yang sama pentingnya terhadap kualitas semen.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan inovasi sistem monitoring yang lebih efektif. Dengan perkembangan teknologi *Internet of Things (IoT)* dan mikrokontroler untuk memproses suhu dan Kelembaban secara *real-time* serta menampilkan data pada *dashboard*. Dengan adanya sistem ini, pegawai dapat memantau kondisi silo meskipun berada di luar lokasi, sehingga pengawasan lebih efisien, respons terhadap perubahan lebih cepat, dan kualitas semen tetap terjaga.

Oleh karena itu, penelitian ini mengangkat judul “Implementasi Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Berbasis IoT pada Tempat Penyimpanan Semen di Silo PT Semen Tonasa” sebagai upaya untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan silo serta mengatasi keterbatasan dari sistem yang telah ada.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dimulai dari bulan Januari 2025 sampai selesainya tugas akhir. Adapun pengujian ini dilakukan di area kerja yang berlokasi di Silo Tonasa 5 yang memiliki kapasitas sebesar 24000 Ton dan Diameter di bagian atas 24 m sementara di bagian bawah kerucut 22 m.

2.2 Alat dan Bahan

Adapun daftar alat dan bahan yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.1 sebagai berikut :

Tabel 1 Daftar Alat dan Bahan yang Digunakan

Nama Alat dan Bahan	Jumlah
Mikrokontroler ESP32	1 Buah
Sensor DHT22	1 Buah
MQTT	1 Buah
Node-Red	1 Buah
Adaptor 12/24v	1 Buah
Solder	1 Buah
Relay 3 Channel	1 Buah
LM 2596	1 Buah
Terminal Blok 4 pin	1 Buah
LCD 16x2 12C	1 Buah
PCB Titik	1 Papan
<i>White Housing</i>	8 Buah
<i>Led (Light Emitting Diode)</i>	3 Buah

2.3 Prosedur / Langkah Kerja

a. Observasi

Pada penelitian ini penulis melakukan observasi atau pengamatan langsung di area lingkungan kerja dengan mengumpulkan data serta mempelajari sistem kerja dalam sistem monitoring suhu dan Kelembaban dalam area PT Semen Tonasa.

b. Studi literatur

Melakukan studi literatur dengan mempelajari objek dan teori teori dari beberapa artikel, buku dan jurnal yang berkaitan dengan permasalahan yang akan diselesaikan, dan praktek uji coba di area dilo PT Semen Tonasa guna mengumpulkan data data yang menggunakan sensor suhu dan Kelembaban dan mengirimkan notifikasi melalui *whatsapp*, sehingga memudahkan monitoring secara *real time*.

c. Identifikasi Masalah

Proses pembuatan proyek tugas akhir ini tentu terdapat masalah- masalah yang akan muncul. Berikut merupakan masalah yang akan dihadapi pada proses perancangan dan pembuatan alat ini sebagai berikut:

1) Pemrograman alat/ pembuatan alat

Masalah yang dapat muncul pada tahap ini adalah kesulitan dalam menulis dan menjalankan program mikrokontroler agar sesuai dengan kebutuhan sistem. Error pada kode program, kesalahan dalam koneksi pin sensor dengan mikrokontroler, serta kemungkinan kerusakan atau ketidakcocokan komponen dapat menghambat proses perancangan dan perakitan alat.

2) Uji coba alat

Pada tahap uji coba, masalah yang sering terjadi adalah alat tidak berjalan sesuai rancangan, misalnya sensor tidak mendeteksi dengan baik, sistem tidak stabil saat digunakan terus-menerus, atau adanya perbedaan hasil antara data yang diharapkan dengan data aktual. Hal ini biasanya membutuhkan kalibrasi ulang dan penyesuaian konfigurasi.

3) Pengambilan data

Permasalahan pada tahap pengambilan data berkaitan dengan proses pencatatan suhu dan Kelembaban dari sensor yang digunakan. Kendala yang mungkin terjadi adalah data suhu dan Kelembaban yang terbaca tidak konsisten, adanya keterlambatan dalam pengiriman data ke server atau *dashboard*, serta kemungkinan hilangnya data akibat gangguan jaringan. Selain itu, faktor lingkungan seperti perubahan suhu mendadak, Kelembaban tinggi, atau kondisi

silo yang berdebu juga dapat memengaruhi akurasi pembacaan sensor.

4) Pengolaan data

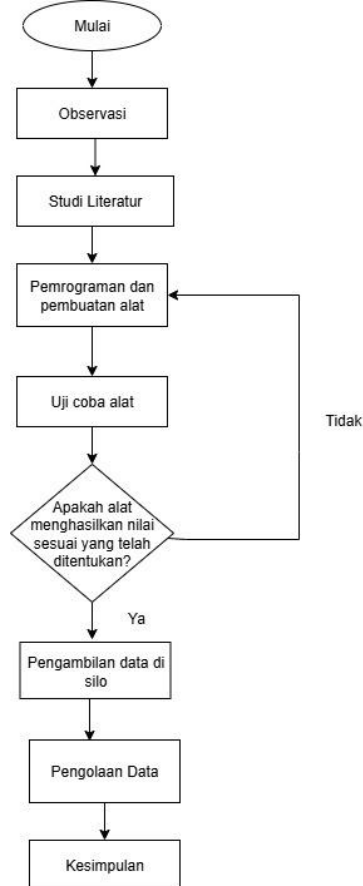
Adapun rumus perhitungan olah data dari hasil pengujian alat sebagai berikut:

$$\text{Selisih} = | \text{Tafware HTC 1} - \text{Alat} |$$

$$\% \text{ Error} = \frac{\text{Selisih}}{\text{Tafware HTC 1}} \times 100\%$$

$$\text{Rata - rata Error} = \frac{\text{Jumlah \% error}}{10}$$

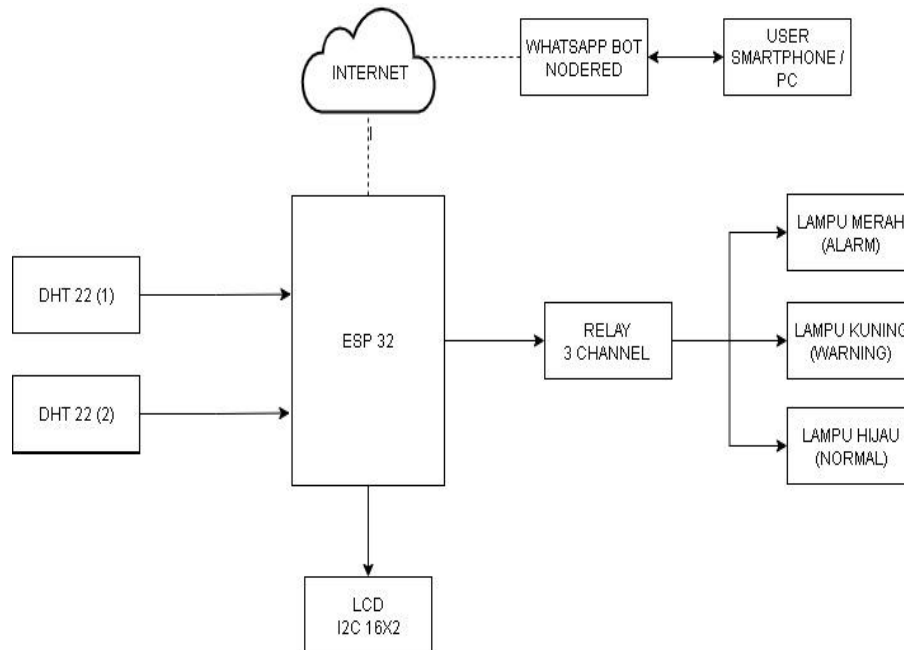
Adapun gambaran *flowchart* prosedur penelitian di bawah ini



Gambar 1 Flowchart Prosedur Penelitian

d. Diagram Blok

Diagram blok ini bertujuan sebagai acuan pada pembuatan perangkat keras yang dapat dilihat dibawah ini



Gambar 2. Blok Diagram

Blok diagram sistem menunjukkan alur kerja monitoring suhu dan Kelembaban berbasis ESP32 dengan menggunakan dua sensor DHT22. Kedua sensor tersebut berfungsi untuk membaca data suhu dan Kelembaban dari titik *top* dan *bottom*, selanjutnya data diolah ke mikrokontroler ESP32 untuk menghasilkan data suhu dan Kelembaban.

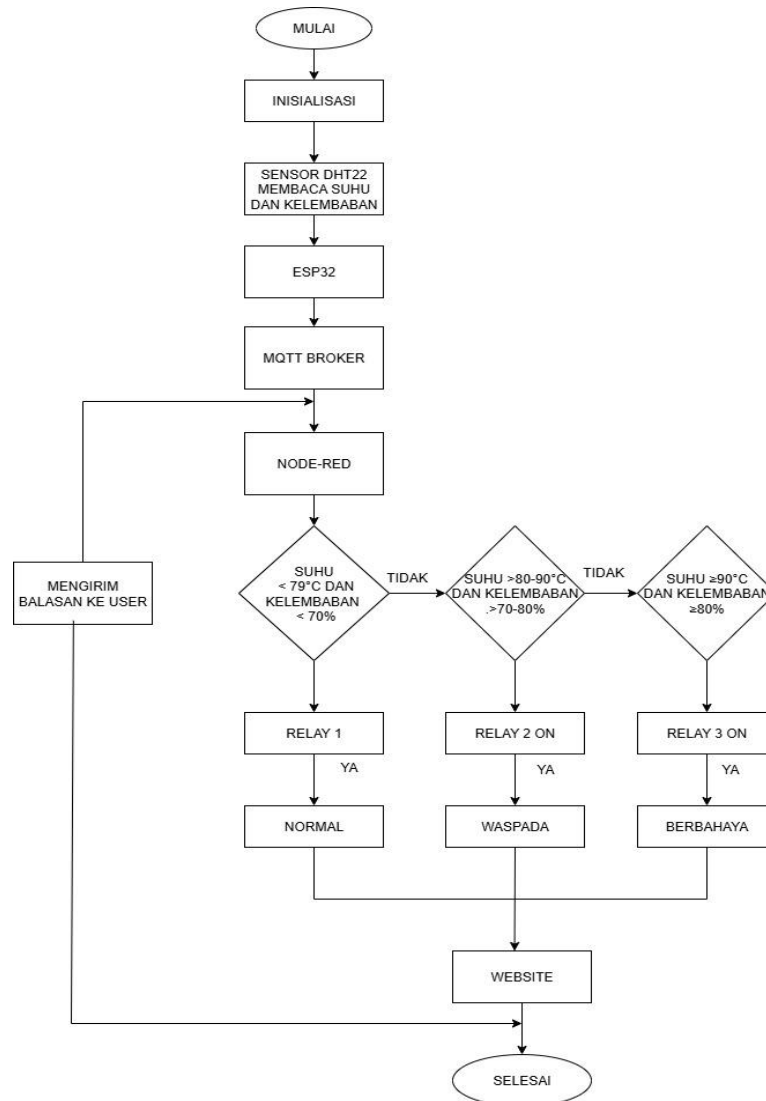
Data yang diproses oleh ESP32 akan ditampilkan secara langsung melalui LCD 12C 16x2 sehingga pengguna dapat melihat kondisi secara real-time di lokasi. Selain itu, ESP32 juga terhubung dengan modul relay tiga channel yang digunakan untuk mengaktifkan lampu indikator sesuai kondisi suhu, yaitu lampu hijau sebagai tanda kondisi normal, lampu kuning sebagai tanda kondisi peringatan, dan lampu merah sebagai tanda kondisi alarm atau berbahaya.

Agar pemantauan dapat dilakukan secara jarak jauh, ESP32 terhubung ke jaringan internet dan dikomunikasikan dengan Node-RED yang berfungsi untuk mengirim data ke *WhatsApp* Bot. Dengan cara ini, pengguna dapat menerima informasi langsung di smartphone atau PC mengenai status suhu dan Kelembaban yang sedang terjadi, sehingga tindakan yang diperlukan dapat segera dilakukan sesuai kondisi yang terdeteksi.

e. *Flowcart* perancangan sistem

Dalam kegiatan ini dilakukan beberapa tahapan untuk menyelesaikan alat ini.

Langkah untuk sistem monitoring suhu dan Kelembaban



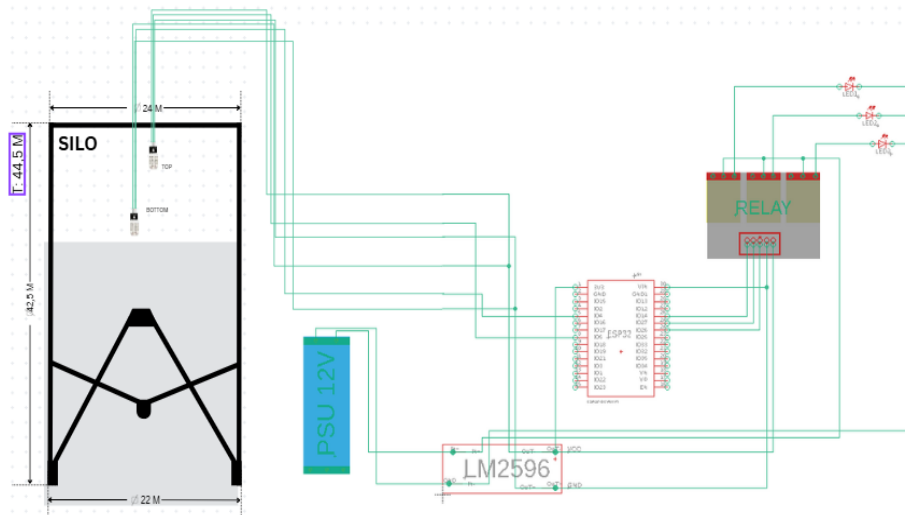
Gambar 3 Flowchart Perancangan Sistem

Pada gambar 3.3 *flowchart* menunjukkan alur kerja sistem monitoring suhu berbasis ESP32 dengan sensor DHT22 dan *WhatsApp*. Proses dimulai dari tahap mulai, kemudian pengguna dapat memberikan input command melalui *WhatsApp* untuk meminta data, setelah sistem menerima perintah, ESP32 melakukan inisialisasi dan mengaktifkan sensor DHT22 untuk membaca nilai suhu dan kelembaban. Data hasil pembacaan kemudian diproses oleh ESP32, selanjutnya sistem akan mengirimkan balasan melalui *WhatsApp* berisi informasi suhu dan kelembaban sesuai permintaan pengguna.

Selain mengirimkan balasan, ESP32 juga melakukan pengecekan kondisi berdasarkan batas ambang yang telah ditentukan. Jika suhu <79°C dan kelembaban <70%, maka *Relay 1* aktif dengan indikator normal. Jika suhu berada pada rentang 80–90°C atau kelembaban 70–80%, maka *Relay 2* aktif dengan indikator waspada. Sedangkan apabila suhu ≥90°C atau kelembaban ≥80%, maka *Relay 3* aktif dengan indikator bahaya. Seluruh hasil proses ditampilkan melalui indikator dan dapat diketahui pengguna melalui balasan *WhatsApp*. Alur ini kemudian diakhiri pada tahap selesai.

2.4 Rangkaian Skematik

Sistem monitoring ini menggunakan ESP32 sebagai pengontrol utama, yang membaca suhu dan kelembaban dari sensor DHT22. Data ditampilkan di LCD 16x2 (12 C) dan dikirimkan melalui MQTT ke Node- RED untuk dipantau lebih lanjut. Sistem ini memastikan kondisi penyimpanan semen tetap optimal. Skematik rangkaian dibawah ini adalah dasar atau skematik penelitian yang akan dirancang.



Gambar 4 Rangkaian Skematik

Pada gambar 4 menunjukkan rangkaian Skematik sistem monitoring suhu dan Kelembaban pada silo semen dirancang dengan penempatan sensor DHT22 pada posisi yang strategis di dalam silo. Silo penyimpanan semen memiliki ruang kosong sekitar dua meter sebelum kondisi penuh, sehingga pada penelitian ini sensor ditempatkan menggantung pada dua titik utama, yaitu satu meter dari bagian bawah (*bottom*) dan satu meter dari bagian atas (*top*) ruang kosong tersebut. Penempatan ini bertujuan agar sensor dapat merepresentasikan kondisi suhu dan Kelembaban udara di bagian bawah serta bagian atas silo secara akurat, mengingat adanya potensi perbedaan distribusi suhu dan Kelembaban pada kedua titik tersebut.

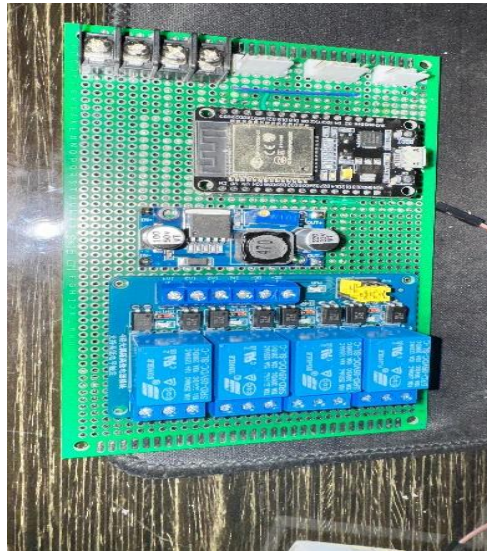
Sensor DHT22 yang digunakan terhubung dengan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, di mana data yang diperoleh akan diproses dan ditampilkan melalui LCD serta dihubungkan ke relay untuk mengaktifkan lampu indikator sesuai kondisi yang terdeteksi. Selain itu, sistem juga dikoneksikan ke jaringan internet sehingga informasi hasil pengukuran dapat dikirimkan secara real-time melalui Node-RED *WhatsApp* Bot ke perangkat pengguna.

Dengan penempatan sensor yang menggantung pada posisi top dan bottom silo, sistem ini mampu memberikan gambaran yang lebih representatif mengenai kondisi lingkungan dalam silo sehingga mempermudah operator dalam melakukan pengawasan dan tindakan pencegahan apabila suhu atau Kelembaban melebihi batas normal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perancangan Alat

Sistem monitoring suhu dan Kelembaban berhasil dibuat menggunakan sensor DHT22 yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32. Sistem ini dilengkapi dengan indikator LED berbentuk menara sinyal (*signal tower light*) yang berfungsi untuk memberikan informasi status secara visual berdasarkan suhu dan Kelembaban yang terdeteksi.

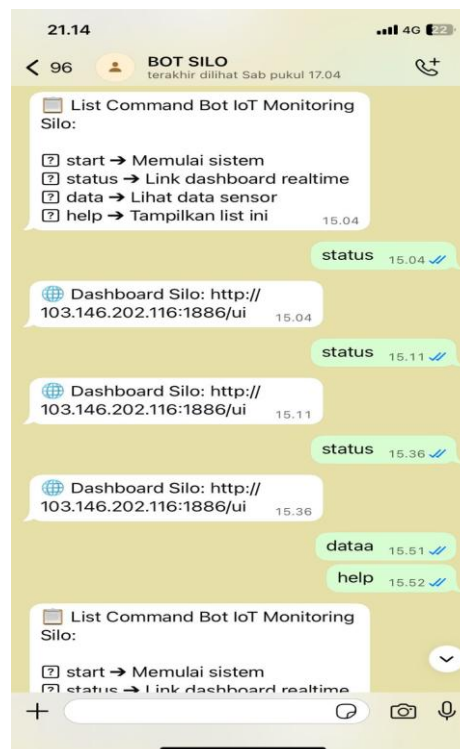


Gambar 5 Hasil Perancangan Alat

Pada sistem monitoring suhu dan Kelembaban ini, digunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali utama. Perangkat ini bertugas untuk membaca data suhu dan Kelembaban, mengendalikan *output* (relay dan indikator), serta mengirimkan data ke sistem monitoring melalui internet. Pemrograman ESP32 dilakukan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C++ Komponen dan Koneksi Pin ke ESP32: Sensor Suhu dan Kelembaban (DHT22) Sensor DHT22 Atas terhubung ke pin GPIO 4 , sensor DHT22 bawah terhubung ke pin GPIO 5 . Kedua sensor ini menggunakan pustaka DHT.h untuk membaca nilai suhu dan Kelembaban secara digital.

3.2 Hasil Perancangan Dashboard dan WhatsApp

Dashboard juga dilengkapi dengan tampilan grafik yang menampilkan grafik perubahan suhu dan Kelembaban dari waktu ke waktu, baik untuk masing masing titik maupun nilai rata-rata. Status kondisi silo ditampilkan dibagian atas sehingga pengguna dapat langsung mengetahui apakah kondisi berada pada keadaan normal, *warning*, dan alarm.



Gambar 6 Tampilan WhatsApp

Pada gambar 6 menunjukkan list *Command Bot* monitoring silo berfungsi sebagai menu perintah untuk memudahkan pengguna dalam mengakses sistem, dimana perintah start akan menampilkan bahwa sistem aktif, status memberikan link untuk membuka dashboard monitoring, data menampilkan informasi suhu dan Kelembaban silo secara langsung sedangkan help untuk menampilkan daftar perintah sebagai panduan agar pengguna tahu opsi apa saja yang bisa dipilih sesuai kebutuhan.

3.3 Hasil Pengujian

a. Data Perbandingan Suhu

Tabel 2 Hasil Data Pengujian sensor suhu

Waktu	Suhu °C		Selisih	Error %
	DHT22	Taffware HTC-1		
15.50	30,1 °C	30,3 °C	0,2	0,66%
16.32	30,2 °C	30,3°C	0,1	0,33%
17.00	30 °C	30,1 °C	0,1	0,33%
17.30	29,9 °C	30°C	0,1	0,33%
18.05	29,9 °C	30 °C	0,1	0,33%
18.31	29,8 °C	29,7 °C	0,1	0,34%
19.00	29,7 °C	29,6 °C	0,1	0,34%
19.30	29,4 °C	29,4 °C	0	0
20.00	29,2 °C	29,7 °C	0,5	1.68%
20.30	29,4 °C	29,5 °C	0,1	0,34%
Rata-rata				0,47%

Berdasarkan tabel 2 hasil perbandingan yang diperoleh menunjukkan bahwa alat yang diuji memiliki akurasi yang cukup baik. Dari kondisi pengujian suhu yang dilakukan, nilai rata-rata error yang tercatat sebesar 0,47%. Error yang tertinggi ditemukan pada kondisi jam 15.50, sedangkan error terendah pada kondisi jam 19.30 dengan selisih 0%. Hasil ini menunjukkan bahwa alat ini mampu membaca suhu yang cukup akurat pada berbagai kondisi, oleh karena itu alat ini dinilai layak digunakan untuk keperluan monitoring suhu dan Kelembaban karena telah menunjukkan performa yang baik.



Gambar 7 Data hasil pengujian dengan alat Taffware HTC-1

b. Data Perbandingan Kelembaban

Data perbandingan Kelembaban diperoleh dari hasil pengukuran yang dilakukan secara bersamaan menggunakan sensor DHT22 dan *Taffware* HTC-1 pada kondisi lingkungan yang sama. Hasil pengukuran dari kedua alat kemudian dibandingkan untuk mengetahui tingkat perbedaan dan akurasi sensor DHT22 terhadap alat pembanding.

Tabel 3 Hasil Data Pengujian sensor Kelembaban

Waktu	Kelembaban %		Selisih	Error %
	Alat	<i>Taffware</i> HTC-1		
15.50	75,9 %	76,7 %	0,8	1,04%
16.32	72,3 %	71 %	1,3	1,83%
17.00	76,2 %	77 %	0,8	1,04%
17.30	63,4 %	67 %	3,6	5,37%
18.05	66,1 %	66 %	0,1	0,15%
18.31	66,5 %	67 %	0,5	0,75%
19.00	66,8 %	67 %	0,2	0,30%
19.30	67,1 %	67 %	0,1	0,15%
20.00	65,5 %	66 %	0,5	0,76%
20.30	65,3 %	66 %	0,7	1,06%
Rata-rata				1,24%

Berdasarkan hasil pengujian data sensor tabel 3 Pengambilan data dilakukan dalam rentang waktu mulai dari pukul 15.50 hingga 20.30 WITA, dengan interval waktu kurang lebih 30 menit. Berdasarkan hasil pengujian di atas, diperoleh nilai rata-rata error sebesar 1,24%, yang menandakan bahwa secara umum alat mampu memberikan pembacaan Kelembaban yang cukup akurat dan sebanding dengan *Taffware* HTC.

Persentase error ini masih berada dalam rentang toleransi yang dapat diterima untuk sensor DHT22, yang secara teknis memiliki spesifikasi akurasi Kelembaban sekitar ± 2 hingga $\pm 5\%$ (Rahmat & Sari (2021)).

Tabel 4 Data Perbandingan Menggunakan Tepung

No	Kondisi Pengujian	DHT22 Suhu (°C)	DHT22 RH (%)	HTC-1 Suhu (°C)	HTC-1 RH (%)	Error Suhu (°C)	Error RH (%)
1	Udara bebas (awal)	29.5 °C	72 %	29.8 °C	70 %	0.3 °C	2 %
2	Dalam tepung (5 menit)	28.7 °C	65 %	29.0 °C	66 %	0.3 °C	1 %
3	Dalam tepung (10 menit)	28.5 °C	63 %	28.8 °C	64 %	0.3 °C	1 %
4	Dalam tepung (15 menit)	28.2 °C	61 %	28.6 °C	62 %	0.4 °C	1 %

5	Dalam tepung (20 menit)	28.0 °C	60 %	28.5 °C	61 %	0.5 °C	1 %
6	Udara bebas (ulang)	29.6 °C	71 %	29.9 °C	70 %	0.3 °C	1 %
	Rata-rata	28.75 °C	65.33 %	29.10 °C	65.50 %	0.35 °C	1.17 %

c. *Pengujian Monitoring Suhu dan Kelembaban pada Silo*

Pengujian dilakukan dengan menempatkan alat pada titik *top* dan *bottom* silo untuk memantau kondisi suhu dan Kelembaban secara *real-time*. Data hasil pengukuran ditampilkan melalui *dashboard* yang terhubung dengan sistem IoT sehingga dapat dipantau menggunakan perangkat komputer maupun *smartphone*.

Tabel 5 Data Suhu dan Kelembaban didalam silo

Waktu 23/07/2025	Suhu °C		Rata-rata suhu	Kelembaban %		Rata rata
	Top	Bottom		Top	Bottom	
11.10	33,1 °C	33 °C	33°C	62 %	61,6 %	61,8%
12.00	34,2 °C	34,3°C	34,2°C	60%	59,5%	59,7%
13.00	36,4°C	36,3°C	36,3°C	56,5%	56 %	56,2%
14.00	35,6°C	36°C	35,8°C	63,9%	62,2%	63,1%
15.07	35,9°C	36,5°C	36,2°C	64,6%	62,5%	63,5%
16.03	35,1°C	35,7°C	35,4°C	66,9 %	64,4%	65,7%
17.00	34,3°C	35,1°C	34,7°C	68,7%	65,9%	67,3%
19.00	32,4°C	32,7°C	32,6°C	74,9 %	73%	73,9%
20.00	33,4°C	33,7°C	33,6°C	72%	70,1%	71,1%
22.00	33°C	33,2°C	33,1°C	71,4%	69,7%	70,6%
23.00	33,8°C	34,3°C	34 °C	66,8 %	65%	65,9%
00.00	32 °C	32,4°C	32,2°C	66 %	64,4%	65,2%

Berdasarkan tabel 5 menunjukkan hasil pengukuran pada 23 juli 2025, suhu didalam silo berada pada kisaran 32,2°C hingga 36,3°C dengan nilai terendah tercatat pada pukul 00.00 dan tertinggi pada pukul 13.00. Seluruh hasil pengukuran tersebut masih berada dibawah 79°C, sehingga dikategorikan normal dan aman . Sementara itu , Kelembaban tercatat 56,2% hingga 73,9% dengan nilai terendah terjadi pada pukul 13.00 dan tertinggi pada pukul 19.00 . Dari hasil tersebut terlihat bahwa pada nilai Kelembaban melebihi batas normal 65% terutama pada malam hari. Kondisi ini menunjukkan adanya potensi terbentuknya *coating*.

Tabel 6 Data Suhu dan Kelembaban didalam silo

Waktu 24/07/2025	Suhu °C		Rata-rata suhu	Kelembaban %		Rata rata
	Top	Bottom		Top	Bottom	
12.00	43,5 °C	44,2 °C	43,8°C	48,6 %	46,8 %	47,7%
13.00	42,4 °C	43,5 °C	43 °C	50,1 %	47,5 %	48,8%
14.00	43,1 °C	44,4 °C	43,7 °C	49.3 %	46,6 %	47,9%
15.00	40,7 °C	41,7 °C	41,2 °C	53,8 %	51 %	52.4%
16.00	39,6 °C	41,3 °C	40,4 °C	54,7 %	50,5 %	52,6%
17.00	40,4 °C	42,4 °C	41,4 °C	51,9 %	47,8 %	49,8%
18.00	42,6 °C	44,4 °C	43,5 °C	48,6 %	45,2 %	46,9%

19.00	43,2 °C	44,5 °C	43,8 °C	48,7 %	46 %	47,3%
20.00	42,6 °C	43,4 °C	43 °C	47,3 %	45,2 %	46,2 %
21.00	42,1 °C	42,7 °C	42,4 °C	47,3 %	45,6 %	46,2%
22.00	40,1 °C	40,8 °C	40,4 °C	50,2 %	48 %	49,1%
23.00	42,8 °C	44,1	43,4 °C	46,6 %	44%	45,3%
00.00	33,5 °C	34 °C	33,7 °C	58,8 °C	56,6 %	57,7%

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 6 data suhu dan Kelembaban tanggal 24 Juli 2025 menunjukkan bahwa suhu berada pada kisaran 33,7°C hingga 43,8°C yang dimana suhu dikatakan normal karena masih dibawah 79°C sedangkan Kelembaban tercatat antara 45,3% hingga 57,7% yang juga berada pada kondisi normal yaitu dibawah 66%, dengan demikian data tersebut memperlihatkan bahwa keadaan silo stabil.

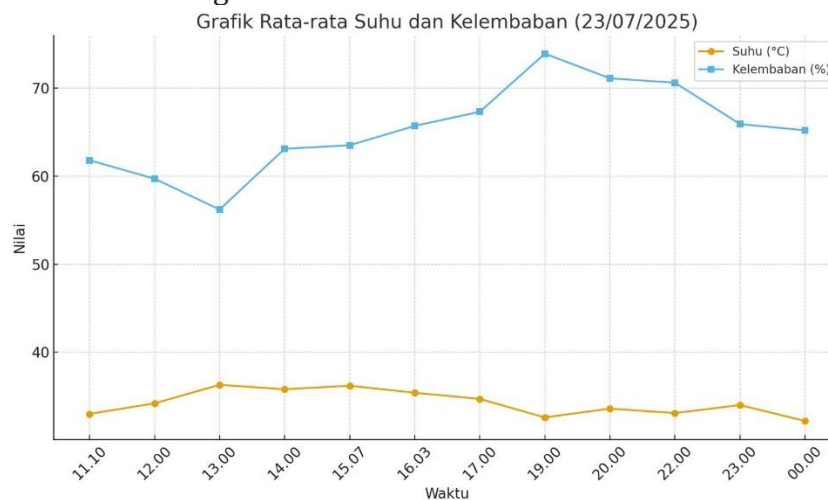


Gambar 8 Hasil penelitian suhu dan kelembaban pada Dashboard

Berdasarkan tampilan *dashboard* pada gambar 8 pukul 22.00 menunjukkan bahwa pada waktu tersebut suhu dibagian *top* 40,1°C dan dibagian *bottom* 40,8°C dengan suhu rata-rata 40,4°C . Sementara itu, Kelembaban dibagian *top* 50,2% dan *bottom* berada di angka 48% dengan rata-rata Kelembaban yaitu 49,1%.

3.4 Analisa Hasil

Adapun grafik suhu dan Kelembaban pada tanggal 23 juli 20225 dari hasil penelitian di tabel 6 adalah sebagai berikut:



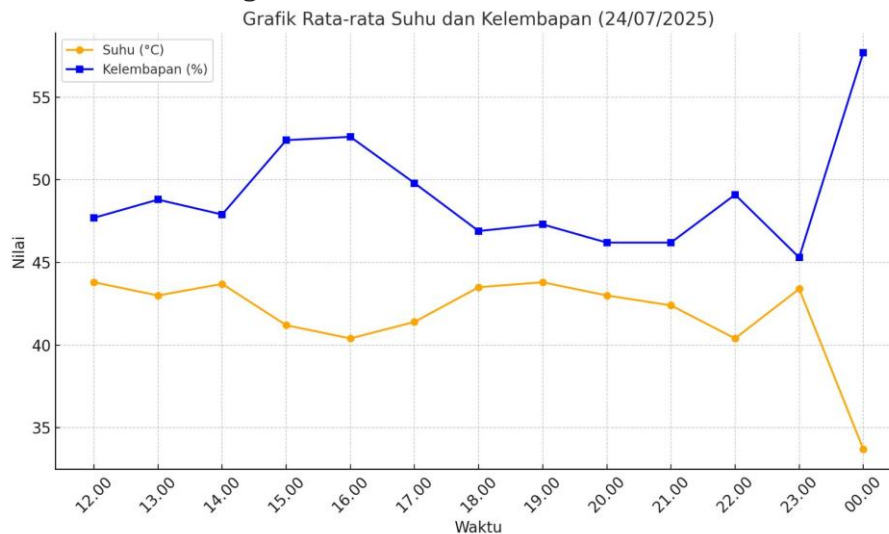
Gambar 9 Grafik suhu dan kelembaban pada Silo

Pada gambar 9 tanggal 23 Juli 2025, grafik di atas menunjukkan hubungan antara rata-rata suhu (°C) dan Kelembaban (%) pada tanggal 23 Juli 2025 dalam rentang waktu pukul 11.10 hingga 00.00. Terlihat bahwa suhu relatif stabil di kisaran 32–37 °C dengan

fluktuasi kecil sepanjang hari, sementara Kelembaban menunjukkan variasi yang lebih signifikan, bergerak di kisaran 56–74%. Pola grafik memperlihatkan adanya hubungan terbalik (inverse relationship) antara suhu dan Kelembaban, di mana saat suhu cenderung menurun pada sore hingga malam hari, Kelembaban justru mengalami kenaikan.

Puncak Kelembaban tercatat sekitar pukul 19.00–20.00 yang mencapai lebih dari 70%, bersamaan dengan suhu yang relatif rendah. Hal ini sesuai dengan karakteristik lingkungan tertutup seperti silo penyimpanan semen, di mana penurunan suhu dapat meningkatkan Kelembaban udara. Secara keseluruhan, grafik ini menegaskan bahwa suhu dan Kelembaban saling memengaruhi, dan kestabilan keduanya sangat penting dalam menjaga kualitas penyimpanan material di dalam silo.

Adapun grafik suhu dan Kelembaban pada tanggal 24 juli 20225 dari hasil penelitian di tabel 5 adalah sebagai berikut:



Gambar 10 Grafik suhu dan kelembaban pada silo

Pada gambar 10 tanggal 24 Juli 2025, pola perubahan suhu harian menunjukkan fluktuasi yang hampir serupa dengan hari sebelumnya. Grafik di atas menunjukkan hubungan antara rata-rata suhu dan Kelembaban pada tanggal 24 Juli 2025. Dari grafik terlihat bahwa suhu rata-rata cenderung stabil di kisaran 40–44 °C sepanjang siang hingga malam, kemudian mengalami penurunan signifikan menjadi 33,7 °C pada pukul 00.00. Sebaliknya, Kelembaban rata-rata berkisar di antara 46–53% pada siang hingga malam hari, lalu meningkat tajam hingga 57,7% pada pukul 00.00. Pola ini menunjukkan adanya hubungan terbalik (invers) antara suhu dan Kelembaban: ketika suhu tinggi, Kelembaban cenderung rendah, dan saat suhu turun pada malam hari, Kelembaban meningkat. Kondisi ini wajar karena penurunan suhu udara menyebabkan kandungan uap air lebih mudah bertahan sehingga Kelembaban relatif naik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem monitoring suhu dan Kelembaban berbasis IoT menggunakan sensor DHT22, ESP32, dan platform MQTT yang ditampilkan melalui *dashboard* dan *WhatsApp*, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Sistem monitoring suhu dan Kelembaban berbasis *IoT* berhasil diimplementasikan pada silo Tonasa 5 dengan dua titik pengukuran, yaitu top dan bottom silo, menggunakan ESP32, sensor DHT22, MQTT, Node-RED, serta WhatsApp Bot.
- Pengujian akurasi sensor DHT22 dibandingkan dengan Taffware HTC-1

menunjukkan rata-rata error sebesar 0,47% pada suhu dan 1,24% pada Kelembaban. Nilai ini masih berada dalam toleransi spesifikasi sensor ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ untuk suhu dan $\pm 2-5\%$ RH untuk Kelembaban), sehingga sistem monitoring yang dirancang dapat dikategorikan akurat.

Hasil monitoring di silo menunjukkan bahwa suhu berada dalam batas aman dengan kisaran $32,2^{\circ}\text{C} - 36,3^{\circ}\text{C}$ pada 23 Juli 2025 dan $33,7^{\circ}\text{C} - 43,8^{\circ}\text{C}$ pada 24 Juli 2025 (di bawah ambang batas 79°C). Namun, Kelembaban pada 23 Juli 2025 tercatat antara 56,2% – 73,9%, dengan beberapa waktu melebihi batas normal 65%, sehingga berpotensi menimbulkan coating dan penurunan mutu semen. Sedangkan pada 24 Juli 2025 Kelembaban berkisar 45,3% – 57,7%, yang masih dalam kondisi normal.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Akhyar, M. (2022). *Pemanfaatan Alat Pendeteksi Kelembaban Tanah dan Suhu Pohon Mangrove Berbasis IoT*. *Jurnal Teknik Informatika*, 8(2), 59-66.
- Albanna, I. (2024, November). *Implementasi NRF24L01 sebagai Perantara Komunikasi Protokol ShockBurst dan TCP-IP dalam Transmisi Basis Data IoT*. In *Seminar Nasional Teknik Elektro (SEMNASTEK 2024)* (Vol. 1, pp. 41- 46).
- Broto, P. E. (2023). *Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Portable Berbasis IoT menggunakan Arduino Mega dan ESP32*. *Jurnal INSYPRO (Information System and Processing)*, 8(1).
- Fadhilah, M. D., Santoso, I. H., & Astuti, S. (2021). *Rancang bangun alat penyiraman otomatis berbasis Internet of Things dengan Notifikasi Whatsapp*. *eProceedings of Engineering*, 8(6).
- Fathulrohman, Y. N. I., & Saepulloh, A. (2019). *Alat Monitoring suhu dan kelembaban menggunakan arduino uno*. *Jurnal Manajemen dan Teknik Informatika (JUMANTAKA)*, 2(1).
- Hadyanto, T., & Amrullah, M. F. (2022). *Sistem monitoring suhu dan kelembaban pada kandang anak ayam broiler berbasis Internet of Things*. *Jurnal Teknologi dan Sistem Tertanam*, 3(2).
- Hergika, G., & Sutarti, S. (2021). *Perancangan Internet Of Things (IoT) Sebagai Kontrol Infrastruktur Dan Peralatan Toll Pada Pt. Astra Infratoll Road*. *PROSISKO: Jurnal Pengembangan Riset dan Observasi Sistem Komputer*, 8(2), 86-98.
- Mamangkey, V., Turangan, A. E., & Manaroinson, L. D. (2018). *Analisis Pondasi Tiang Pancang Pada Silo Semen Tonasa*. *JURNAL SIPIL STATIK*, 6(12).
- Rustami, E., Adiati, R. F., Zuhri, M., & Setiawan, A. A. (2022). *Uji Karakteristik Sensor Suhu Dan Kelembaban Multi-Channel Menggunakan Platform Internet of Things (IoT)*. *Berkala Fisika*, 25(2), 45-52.
- Siregar, M. R., Bintoro, A., & Putri, R. (2021). *Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban pada Penyimpanan Gabah untuk Menjaga Kualitas Beras Berbasis Internet of Things (IoT)*. *Jurnal Energi Elektrik*, 10(1).
- Yudhistira, Y. (2021). *Perekam Data Intensitas Cahaya, Suhu, dan Kelembaban Udara Berbasis IoT (Internet of Things) Menggunakan ESP32 dan MQTT (Message Queuing Telemetry Transport): Array*. *Jurnal Sistem Informasi dan Teknologi Peradaban*, 2(2), 45-48.