

SISTEM MONITORING SUHU MENGGUNAKAN *INTERNET OF THINGS* PADA *COLD CHAIN STORAGE* VAKSINRohman Fadhlur¹, Jill Dira Tera¹, Indra Dwisaputra¹, Ali Rizki Maulana¹¹Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

Corresponding Author: 0032208@student.polman-babel.ac.id

ABSTRAK

Pentingnya menjaga suhu vaksin antara 2–8 °C dalam rantai distribusi mengharuskan sistem monitoring akurat dan real-time. Penelitian ini merancang prototipe “Sistem Monitoring Suhu IoT pada Cold Chain Storage Vaksin” berbasis ESP32, sensor DS18B20, GPS NEO-6M, keypad 4×4, dan magnetic lock, dengan komunikasi MQTT dan visualisasi Node-RED. Metode meliputi studi literatur, desain hardware/software, serta pengujian fungsional untuk menilai akurasi pembacaan suhu, presisi koordinat GPS, kekuatan kunci, dan keandalan input PIN. Hasil menunjukkan rata-rata error suhu 1,9% (akurasi 98,05%), error GPS < 1%, dan sistem keamanan berfungsi sesuai spesifikasi. Sistem mampu memantau suhu, lokasi, dan akses vaksin secara otomatis dan real-time, mendukung pengelolaan vaksin yang lebih efisien dan akurat. Kesimpulannya, prototipe ini efektif dan siap diimplementasikan di lapangan.

Kata Kunci: IoT, monitoring suhu, cold chain, vaksin, ESP32

ABSTRACT

The importance of maintaining vaccine temperatures between 2–8°C in the distribution chain requires an accurate and real-time monitoring system. This study designed a prototype of an “IoT Temperature Monitoring System for Vaccine Cold Chain Storage” based on ESP32, DS18B20 sensor, GPS NEO-6M, 4×4 keypad, and magnetic lock, with MQTT communication and Node-RED visualization. The methods include literature review, hardware/software design, and functional testing to assess temperature reading accuracy, GPS coordinate precision, lock strength, and PIN input reliability. Results show an average temperature error of 1.9% (98.05% accuracy), GPS error < 1%, and the security system functions as specified. The system can automatically and in real-time monitor temperature, location, and vaccine access, supporting more efficient and accurate vaccine management. In conclusion, this prototype is effective and ready for field implementation.

Keywords: IoT, temperature monitoring, cold chain, vaccines, ESP32

1. PENDAHULUAN

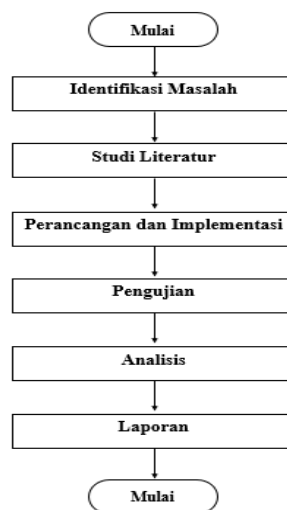
Perkembangan teknologi di era modern membawa dampak nyata di berbagai bidang, termasuk sektor kesehatan. Salah satu teknologi penting adalah sistem penyimpanan vaksin yang memerlukan kontrol suhu ketat agar efektivitasnya tetap terjaga. Vaksin merupakan produk biologi yang mengandung unsur antigenik berupa virus atau mikroorganisme yang dilemahkan, serta toksin dari mikroorganisme yang diolah menjadi protein rekombinan dengan tambahan zat tertentu. Vaksin berfungsi untuk merangsang kekebalan spesifik terhadap penyakit tertentu pada tubuh manusia. Karena sifatnya yang sensitif, vaksin membutuhkan perawatan dan penyimpanan khusus sebelum digunakan (Proverawati A, Citra Andhini, 2010). Vaksin harus disimpan pada suhu 2–8°C untuk menjaga kestabilan komponen bioaktif di dalamnya. Suhu yang tidak sesuai dapat merusak vaksin, sehingga penempatan harus mengikuti standar yang ditentukan agar tetap layak digunakan (I. Masudin, A. Ramadhani, D. P. Restuputri, dan I. Amallynda, 2021). Pada 2020, pandemi Covid-19 melanda dunia, termasuk Indonesia. Vaksin Covid-19 dikembangkan untuk mencegah virus corona dan menekan lonjakan pasien (R. Diah, O. Regina, H. #1, D. Angela, dan T. A. Nugroho). Dalam distribusi vaksin, pemerintah Indonesia menghadapi tantangan besar yaitu keterbatasan sistem pemantauan suhu lemari pendingin vaksin, yang dapat memengaruhi kualitas vaksin jika suhu tidak terjaga (S. T. Alam, S. Ahmed, S. M. Ali, S. Sarker, G. Kabir, dan A. ul-Islam, 2021). Oleh karena itu, dibutuhkan sistem monitoring suhu secara *real-time* agar perubahan suhu bisa dipantau jarak jauh dan memudahkan distribusi vaksin.

Penelitian ini bertujuan membuat prototype alat “Sistem monitoring suhu menggunakan IoT pada *cold chain storage* vaksin”. IoT adalah konsep di mana objek dapat mengirimkan informasi melalui internet tanpa komputer atau perangkat manusia, bekerja berdasarkan logika pemrograman untuk menghasilkan interaksi otomatis antar perangkat (W. Ramdhani, 2023). Cold chain vaksin merupakan sistem penyimpanan dan distribusi vaksin dalam rentang suhu tertentu dari produksi hingga penggunaan, agar kualitas vaksin tetap optimal (W. Ramdhani, 2023).

Berdasarkan permasalahan tersebut, solusi yang dikembangkan adalah alat monitoring suhu vaksin jarak jauh, pelacakan lokasi boks vaksin, peningkatan keamanan, dan pemantauan jumlah vaksin. Sistem dikembangkan berbasis IoT dengan ESP32, komunikasi MQTT, dan antarmuka Node-RED. Dilengkapi sensor suhu DS18B20, modul GPS NEO-6MV, magnetic door lock, dan keypad 4x4 untuk input PIN dan data jumlah vaksin. Alat ini diharapkan menjaga kualitas vaksin, mengurangi risiko kesalahan manusia, dan mendukung kegiatan medis. Integrasi sensor suhu dengan MQTT dan *dashboard Node-RED* merupakan metode terkini dalam pengawasan suhu penyimpanan vaksin.

2. METODE

Metode Pelaksanaan merupakan cara untuk menyusun langkah-langkah kerja untuk membuat penelitian. Dengan metode pelaksanaan yang terstruktur, maka proses pembuatan proyek akhir akan mencapai pada tujuan maksimal. Dalam penelitian ini untuk mendapatkan data yang relevan kami menerapkan beberapa metode. Berikut merupakan diagram metode pelaksanaan dari penelitian.



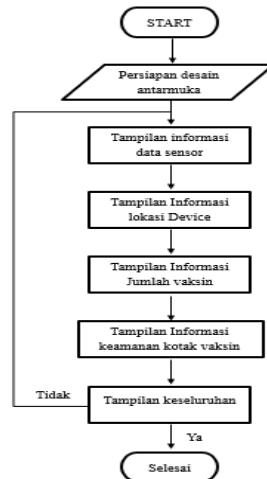
Gambar 1. *Flowchart Metode Pelaksanaan*

Proses dimulai dari identifikasi masalah kemudian studi literatur seperti mencari sumber ataupun artikel yang sesuai dengan topik penelitian, setelah itu melakukan perbandingan hasil penelitian dari berbagai referensi yang ditemukan seperti membandingkan tipe mikrokontroler, tipe sensor, tipe module, alat ukur suhu, dan yang terakhir software aplikasi atau IoT yang digunakan pada masing-masing sumber penelitian. Tabel 1 merupakan studi literatur sejenis.

Tabel 1. *Literatur Sejenis*

NO	Judul Penelitian	Penulis	Tahun	Kelebihan	Kekurangan
1.	Penerapan IoT pada Alat Temperature Monitoring System Cold Chain Box Vaccine Menggunakan Sensor DS18B20	Akmal Darman Putra, Sarjon Defit, dan Gunandi Widi Nurcahyo	2025	Jurnal ini menawarkan solusi IoT dengan sensor DS18B20 dan NodeMCU ESP8266 yang ekonomis, disertai notifikasi suhu real-time via Telegram. Sistem mencatat akurasi 99,85% dengan kesalahan hanya 0,15% dan dilengkapi diagram UML serta rekap data otomatis untuk laporan resmi.	Jurnal ini tidak membahas keamanan data suhu, skema multi-cold chain box, implementasi di lapangan, maupun kenyamanan antarmuka bagi pengguna seperti apoteker, meskipun menggunakan Blynk dan Telegram.

Pada penelitian ini, dibuat rancangan software yang merupakan tampilan antarmuka (user interface) untuk memonitoring informasi boks penyimpanan vaksin. Perancangan tampilan antarmuka ini dimaksudkan untuk menampilkan informasi data-data dari pembacaan sensor, penerimaan sinyal satelit oleh *GPS*, menampilkan informasi jumlah dan keamanan vaksin di dalam *cold storage*. Tampilan antarmuka (UI) ini dirancang menggunakan platform *IoT Node-Red* yang berbasis *web browser*. Gambar 2 adalah tahapan dari perancangan *software*.



Gambar 2. *Flowchart Perancangan Software*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan merupakan bagian yang menjelaskan tahap-tahap dalam pelaksanaan proyek akhir ini. Pembahasan difokuskan pada hasil serta analisis untuk mengevaluasi kinerja sistem yang telah dirancang. Pengujian dalam proyek akhir ini dilakukan sebagai langkah untuk memperoleh data yang dapat digunakan untuk memverifikasi dan menilai kesesuaian antara teori maupun konsep sistem yang telah dikembangkan sebelumnya.

Berikut merupakan hasil pengujian yang dilakukan pada penelitian ini:

Pengujian Sensor suhu DS18B20. Pengambilan data dari sensor suhu *DS18B20* dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi pembacaan sensor suhu *DS18B20*. Berikut ini merupakan data hasil perbandingan antara sensor suhu *DS18B20* dengan alat pengukur suhu di dalam ruangan:

Hasil dari pengujian tegangan sensor suhu *DS18B20* dan alat pengukur suhu pada tabel 3.1 terdapat nilai *error* yang berbeda pada setiap waktu pengukuran. Dimana pada menit ke-1 didapatkan nilai *error* 3%, pada menit ke-2 didapatkan nilai *error* 2,07%, pada menit ke-3 didapatkan nilai *error* 3,25%, pada menit ke-4 didapatkan nilai *error* 1,10%, dan pada menit ke-5 didapatkan nilai *error* 0,4%. Dengan perbandingan pengujian menggunakan alat pengukur suhu. Nilai *error* rata-rata dan akurasi dari nilai sensor suhu *DS18B20* dan alat pengukur suhu didapatkan dengan perhitungan menggunakan rumus pada persamaan dibawah ini:

$$Error(\%) = \left(\frac{T_{DS18B20} - T_{Termometer}}{T_{Termometer}} \right) \times 100\%$$

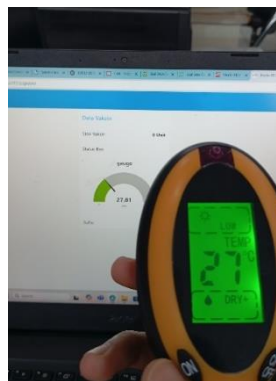
$$\text{Rata - rata Error} = \frac{\sum \text{Error (100\%)}}{n}$$

$$\text{Selisih: } \Delta = T_{DS18B20} - T_{Termometer}$$

Sehingga hasil pengukuran dari pengujian sensor susu *DS18B20* dan alat pengukur suhu dengan perhitungan menggunakan rumus-rumus di atas maka didapatkan hasil nilai *error* rata-rata pada pengukuran tersebut adalah 1,9% dan keakuratan pembacaan sensor 98.05%.

Tabel 2. Hasil Perbandingan Sensor Suhu DS18B20 dan Alat Pengukur

Pengukuran Ke	Waktu (Menit)	DS18b20 (Celcius)	Termometer (Celcius)	Selisih (Celcius)	Error (%)
1	1	27.81	27	0,81	3
2	2	26.44	27	0,56	2,07
3	3	26.12	27	0,88	3,25
4	4	28.31	28	0,31	1,10
5	5	29.12	29	0,12	0,4
Rata Rata Akurasi (%)					1,9 98.05



Gambar 3. Pengukuran Suhu Di Ruangan Pada Menit ke-1

Pengujian modul GPS APM2.5 Neo-6M V2. Pengambilan data dari modul GPS APM2.5 Neo-6M V2. Pengujian dilakukan dengan cara menempatkan modul GPS pada perangkat keras, kemudian mengaktifkan modul di beberapa titik lokasi yang berbeda. Hasil pembacaan koordinat dari modul GPS APM2.5 Neo-6M V2 akan dibandingkan dengan data lokasi yang ditampilkan oleh aplikasi pemetaan digital seperti *Google Maps*. Berikut ini merupakan data hasil perbandingan antara module GPS APM2.5 Neo-6M V2 dengan aplikasi pemetaan *google maps*:



Gambar 4. Program Modul GPS NEO-6M V2

Berdasarkan data pada Tabel 3, hasil koordinat dari modul GPS NEO-6M V2 dibandingkan dengan *Google Maps* untuk mengetahui akurasi dalam menentukan lokasi boks vaksin. Terdapat variasi kecil pada hasil pembacaan GPS untuk sepuluh sampel, yaitu nilai longitude antara -1.857500 hingga -1.857527, dan latitude antara 106.120897 hingga 106.121074. Sementara itu, data *Google Maps* konsisten dari sampel pertama hingga kesepuluh. Ini menunjukkan bahwa GPS NEO-6M V2 memberikan hasil fluktuatif dalam batas wajar, dengan *Google Maps* sebagai standar rujukan. Meskipun terdapat variasi kecil, tingkat kesalahannya sangat rendah (<1%), sehingga GPS NEO-6M V2 cukup akurat dan stabil. Nilai error rata-rata longitude dan latitude dihitung menggunakan rumus pada persamaan berikut:

$$\text{Rata-rata error Latitude} = \frac{\text{Jumlah error data}}{\text{Banyak data}} \times 100\%$$

$$\text{Rata-rata error Longitude} = \frac{\text{Jumlah error data}}{\text{Banyak data}} \times 100\%$$

Tabel 3. Perbandingan Modul GPS NEO-6M V2 dan *Google Maps*

GPS NEO-6M V2		Google Maps		Error Longitude(%)	Error Latitude (%)
Longitude	Latitude	Longitude	Latitude		
-1.857.500	106.121.074	-18.574.157	1.061.185.335	0,899995	0,899998
-1.857.500	106.121.074	-18.574.157	1.061.185.335	0,899995	0,899998
-1.857.500	106.121.074	-18.574.157	1.061.185.335	0,899995	0,899998
-1.857.500	106.121.074	-18.574.157	1.061.185.335	0,899995	0,899998
-1.857.673	106.120.825	-18.574.157	1.061.185.335	0,899986	0,899998
-1.857.632	106.120.848	-18.574.157	1.061.185.335	0,899988	0,899998
-1.857.598	106.120.855	-18.574.157	1.061.185.335	0,899990	0,899998
-1.857.598	106.120.855	-18.574.157	1.061.185.335	0,899990	0,899998
-1.857.556	106.120.909	-18.574.157	1.061.185.335	0,899992	0,899998
-1.857.527	106.120.897	-18.574.157	1.061.185.335	0,899994	0,899998

Sehingga hasil dari pengujian modul GPS NEO-6M V2 dan google maps dengan perhitungan menggunakan rumus-rumus di atas maka didapatkan hasil nilai *error* rata-rata Longitude 0,899990 hingga 0,899995 dan *error* rata-rata Latitude adalah 0,899998.

Pengujian Magnetic door lock 60 Kg, pengujian ini dilakukan dengan pengambilan data magnetic door lock dengan menggantungkan beban berupa barbel dan laptop yang diikat menggunakan tali, lalu dikaitkan langsung pada magnetic door lock. Berikut merupakan hasil pengujian dari magnetic door lock 60 Kg.

Tabel 4. Hasil Pengujian Magnetic Door Lock

NO	Berat Beban (Kg)	Jenis Beban	Hasil Pengujian	Keterangan
1	2	1 barbel	Tidak terlepas	Berhasil, sesuai spesifikasi
2	4	2 barbel	Tidak terlepas	Berhasil, sesuai spesifikasi
3	6	3 barbel	Tidak terlepas	Berhasil, sesuai spesifikasi
4	8	4 barbel	Tidak terlepas	Berhasil, sesuai spesifikasi
5	10	4 barbel + 1 laptop	Tidak terlepas	Berhasil, sesuai spesifikasi

*Keterangan: 1 Barbel (2 Kg)
1 Laptop + tas (2 Kg)*

Berdasarkan hasil pengujian yang terdapat pada Tabel 4 magnetic door lock berhasil menahan beban, mulai dari berat beban 2 Kg hingga 10 Kg tanpa mengalami pelepasan. Magnetic door lock berfungsi dengan baik dan sesuai dengan spesifikasi yang tertera.



Gambar 5. Empat Buah Barbel Dengan Berat 8 Kg Dan Satu Buah Laptop + Tas Dengan Berat 2 Kg

Pengujian Keypad matrix 4x4. pengujian ini dilakukan dengan cara memasukkan PIN yang sudah diprogram sebelumnya. Jika PIN yang dimasukkan benar, maka relay akan aktif dan membuka kunci pintu (magnetic door lock). Namun, jika PIN yang dimasukkan salah, magnetic door lock akan tetap terkunci. Berikut merupakan data hasil pengujian dari keypad matrix 4x4:

Tabel 5. Hasil pengujian *keypad matrix 4x4*

NO	PIN BENAR	PIN INPUT	STATUS PIN	TAMPILAN OLED	RELAY	MAGNETIC DOOR LOCK
1	1234	1234	benar	kotak terbuka	bekerja/aktif	kunci terbuka
2	1234	1243	salah	PIN salah	tidak bekerja	kunci tertutup
3	1234	2413	salah	PIN salah	tidak bekerja	kunci tertutup
4	1357	3412	salah	PIN salah	tidak bekerja	kunci tertutup
5	1357	4213	salah	PIN salah	tidak bekerja	kunci tertutup

Berdasarkan Tabel 5, pengujian keypad matrix 4x4 menunjukkan bahwa sistem berhasil membedakan input PIN yang benar dan salah. Pada pengujian pertama, saat PIN yang dimasukkan sesuai dengan PIN yang sesuai dengan sistem, OLED menampilkan pesan “kotak terbuka” dan kunci magnetic door lock terbuka. Tetapi, pada pengujian kedua hingga kelima, ketika PIN yang dimasukkan salah, OLED menampilkan pesan “PIN salah” dan kunci magnetic door lock tetap tertutup. Sistem keamanan berbasis PIN berfungsi dengan baik dalam mengontrol akses ke boks penyimpanan vaksin. Berikut merupakan dokumentasi pengujian pada keypad matrix 4x4:

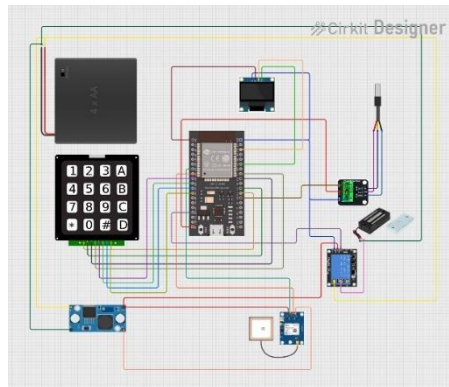


Gambar 6. Hasil Pengujian *Keypad Matrix 4x4* Pin Input Benar



Gambar 7. Hasil Pengujian Ke-2,3,4,Dan 5 *Keypad Matrix 4x4* Input Pin Salah

Perancangan *hardware elektrik* merupakan perakitan komponen-komponen *elektrik* melalui aplikasi *circuit designer* yaitu sensor suhu *DS18B20*, *Keypad 4x4*, *Module GPS APM2.5 NEO-6MV2*, *Oled*, *LM2596*, *Relay*, *EM lock 60 Kg*, *ESP32*, Baterai 4x 18560.



Gambar 8. Rancangan *Wiring Elektrik*

Berikut merupakan tampak *hardware* secara mekanikal serta dilengkapi dengan gabungan komponen- komponen pendukung yang terdiri dari *DS18B20*, *Keypad 4x4*, *Module GPS APM2.5 NEO-6MV2*, *Oled*, *LM2596*, *Relay*, *EM lock 60 Kg*, *ESP32*, Baterai 4x 1856 untuk menjalankan sistem monitoring suhu menggunakan IoT pada cold chain storage vaksin.



Gambar 9. Hasil *Hardware Rancangan Elektrik*

4. KESIMPULAN

Teknologi *Internet of Things* (IoT) menawarkan solusi efektif untuk masalah distribusi dan penyimpanan, khususnya dalam menjaga stabilitas suhu yang krusial bagi efektivitas vaksin. Sebagai produk biologis yang sensitif terhadap tekanan, vaksin memerlukan sistem pemeliharaan real-time. Kelemahan metode manual menekankan perlunya inovasi sistem otomatis yang terintegrasi. Untuk itu, dikembangkan sistem vaksin berbasis IoT dengan sensor suhu, modul GPS, pengunci elektronik, dan antarmuka web. Inovasi ini memudahkan petugas memantau vaksin dari jarak jauh tanpa pengecekan manual, menjaga kualitas selama distribusi dan penyimpanan, serta meningkatkan akurasi data dan keamanan guna mendukung keberhasilan program vaksinasi.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung atas fasilitas dan kesempatan yang diberikan. Terima kasih kepada Bapak Indra Dwisaputra, S.ST., M.T. (Pembimbing I) dan Bapak Ali Rizki Maulana, S.Pi., M.Pi. (Pembimbing II) atas arahan dan motivasinya. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada teman-teman kelas 3 EA dan semua pihak yang membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- I. Masudin, A. Ramadhani, D. P. Restuputri, dan I. Amallynda, "The Effect of Traceability System and Managerial Initiative on Indonesian Food Cold Chain Performance: A Covid-19 Pandemic Perspective," *Global Journal of Flexible Systems Management*, vol. 22, no. 4, hlm. 331–356, Des 2021, doi: 10.1007/s40171-021-00281-x.
- Proverawati A, Citra Andhini. Buku Imunisasi dan Vaksinasi. Edisi 2. Jakarta. Nuha Medika 2010: 25-28.
- R. Diah, O. Regina, H. #1, D. Angela, dan T. A. Nugroho, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Lemari Pendingin Vaksin Covid-19 Dalam Proses Distribusi."
- S. T. Alam, S. Ahmed, S. M. Ali, S. Sarker, G. Kabir, dan A. ul-Islam, "Challenges to COVID-19 vaccine supply chain: Implications for sustainable development goals," *Int J Prod Econ*, vol. 239, Sep 2021, doi: 10.1016/j.ijpe.2021.108193.
- W. Ramdhani, "Pemantauan Suhu, Kelembaban dan Posisi Dari Sebuah Cold Storage dan Cold Chain Untuk Distribusi Vaksin Berbasis IoT (Internet Of Things)," 2023.