

Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Lemari Pendingin Vaksin *Covid-19* Dalam Proses Distribusi

Revysha Diah Octhalia Regina Hiariej^{#1}, Dina Angela^{*2}, Tunggul Arief Nugroho^{*3}

*#Program Studi Media Internet Technology, Institut Teknologi Harapan Bangsa
Jl. Dipatiukur No. 80-84, Bandung, Jawa Barat, Indonesia*

¹revyshahiariej@gmail.com

²dina_angela@ithb.ac.id

³tunggul@ithb.ac.id

Abstract— In the process of distributing the *Covid-19* vaccine, several challenges were found, especially in Indonesia. One of the main challenges is monitoring the temperature of the vaccine cold box. Monitoring the temperature of the vaccine refrigerator still uses a manual system, which makes it difficult for officers, manual inspection also cannot guarantee because the inspection is carried out periodically. In addition, vaccines are very susceptible to damage and it is not easy to maintain the temperature of the vaccine carrier cold box to comply with Standard Operating Procedures (SOP). In this study, an automatic monitoring system for vaccine cold box was developed in the distribution process. The vaccines that become the object of this research are freeze sensitive vaccines, namely Sinovac and AstraZeneca which require temperatures at 2 to 8 degrees Celsius. This system uses a BME280 temperature and humidity sensor as well as GPS which will be connected to the ESP8266 NodeMCU. The temperature sensor will detect the temperature inside and outside the vaccine cold box along with GPS which will detect the position of the vaccine cold box. The data captured by the NodeMCU ESP8266 will be sent to the cloud to be processed and displayed on the dashboard. The result of the research is a monitoring tool that can assist vaccine transport officers in monitoring the cold box with a more efficient time, because it successfully displays temperature data in the cold box with an accuracy of 97.23%, humidity in the cold box with an accuracy of 97.09%, temperature outside the cold box with an accuracy of 96.62%, and latitude longitude of the cold box on the dashboard.

Keywords— *Covid-19 Vaccine, Vaccine Monitoring System, NodeMcu ESP8266, Sinovac, AstraZeneca*

Abstrak— Dalam proses distribusi vaksin *Covid-19* ditemukan beberapa tantangan khususnya di Indonesia. Salah satu tantangan utama yaitu pemantauan suhu pada lemari pendingin vaksin. Pemantauan suhu lemari pendingin vaksin masih menggunakan sistem manual, dimana hal tersebut menyulitkan petugas, pemeriksaan manual juga tidak dapat menjamin karena pemeriksaan dilakukan secara berkala. Di samping itu, vaksin sangat rentan dengan kerusakan dan bukan hal yang mudah untuk menjaga suhu lemari pendingin pembawa vaksin agar sesuai dengan Standar Prosedur Operasional (SPO). Pada penelitian ini dikembangkan sebuah sistem *monitoring* otomatis lemari pendingin vaksin dalam proses distribusi. Vaksin yang menjadi contoh objek pada penelitian ini adalah vaksin sensitif beku yaitu Sinovac dan AstraZeneca yang membutuhkan suhu pada 2 sampai 8 derajat celsius. Sistem ini menggunakan sensor suhu dan kelembapan BME280 juga GPS yang akan

dihubungkan ke NodeMCU ESP8266. Sensor suhu akan mendeteksi suhu di dalam dan di luar lemari pendingin vaksin bersama GPS yang akan mendeteksi posisi lemari pendingin vaksin. Data-data yang ditangkap oleh NodeMCU ESP8266 akan dikirim ke *cloud* untuk diolah dan ditampilkan ke *dashboard*. Hasil dari penelitian adalah alat *monitoring* yang dapat membantu petugas pengangkut vaksin dalam *monitoring* lemari pendingin dengan waktu yang lebih efisien, karena berhasil menampilkan data suhu di dalam lemari pendingin dengan akurasi 97,23%, kelembapan di dalam lemari pendingin dengan akurasi 97,09%, suhu di luar lemari pendingin dengan akurasi 96,62%, dan latitude longitude lemari pendingin pada *dashboard*.

Kata Kunci— *Vaksin Covid-19, Sistem Monitoring Vaksin, NodeMcu ESP8266, Sinovac, AstraZeneca*

I. PENDAHULUAN

Pada tahun 2020 Pandemi Covid-19 melanda seluruh dunia juga Indonesia. Covid-19 adalah penyakit yang disebabkan oleh *coronavirus*. Akhirnya ditemukan vaksin Covid-19 oleh para ilmuwan dunia yang dapat membantu mengurangi lonjakan pasien Covid-19. Saat vaksin sudah masuk di Indonesia, pemerintah Indonesia mewajibkan setiap masyarakat untuk divaksin. Namun, di sisi lain Pemerintah Indonesia masih kesulitan untuk mengirim atau mendistribusikan vaksin Covid-19 ke seluruh daerah di Indonesia. Saat proses distribusi vaksin Covid-19 dari satu wilayah ke wilayah lain, vaksin akan dibawa menggunakan lemari pendingin atau yang biasa disebut *cold box* dan *vaccine carrier*. Penggunaan lemari pendingin tersebut dimaksudkan untuk menjaga kualitas vaksin sampai ke rumah sakit atau puskesmas tujuan. Penyimpanan vaksin Covid-19 harus sesuai dengan Standar Prosedur Operasional (SPO). Vaksin Covid-19 yang mulanya paling banyak digunakan di Indonesia adalah Sinovac dan AstraZeneca yang termasuk ke dalam vaksin sensitif beku yang memiliki suhu penyimpanan pada suhu 2 hingga 8 derajat celsius [1]. Karena itu salah satu hal yang menjadi tantangan bagi pemerintah Indonesia dalam pendistribusian vaksin adalah kesulitan dalam pemantauan suhu lemari pendingin vaksin [2]. Untuk itu diperlukan sistem *monitoring* secara real time pada lemari pendingin vaksin agar perubahan suhu lemari pendingin dapat dimonitor dan diketahui oleh petugas pengangkut vaksin dengan mudah.

Dampak dari permasalahan ini cukup besar yaitu yang pertama, rusaknya vaksin karena adanya perubahan suhu pada

lemari pendingin yang melewati Standar Prosedur Operasional, akibatnya vaksin tidak dapat digunakan [3]. Yang kedua, memakan biaya dan sumber daya yang lebih banyak bagi pemerintah, rumah sakit, dan juga puskesmas atau lembaga yang menyediakan vaksinasi. Dan yang terakhir, vaksinasi batal dilakukan [3] atau diundur jadwalnya, yang dapat menyebabkan masyarakat terlambat menerima vaksin dosis kedua, yang dapat mempengaruhi efektivitas vaksin yang telah disuntikkan pada dosis pertama [4].

Beberapa solusi sudah dikembangkan untuk mengatasi masalah tersebut, yang pertama ada perangkat sistem *monitoring* bernama In Temp CX Gateway dari PT. Taharica yang dapat memantau suhu vaksin dan dapat memberikan alarm jika ada perubahan suhu yang tidak normal [5]. Yang kedua ada OneVue dari Primex yang merupakan sistem *monitoring* suhu vaksin otomatis selama terus-menerus dan disertai juga dengan peringatan suhu otomatis [6].

Permasalahan tersebut harus diselesaikan dengan harapan dapat memudahkan petugas pengangkut vaksin untuk memonitor perubahan suhu di dalam dan di luar lemari pendingin secara *real time*, dengan begitu dapat membantu mengurangi atau meminimalkan kerusakan vaksin dalam proses distribusi sehingga lebih menghemat biaya dan sumber daya. Karena itu, membangun sistem *monitoring* untuk memantau lemari pendingin vaksin secara *real time* dalam proses distribusi sangat membantu keberhasilan distribusi vaksin.

Solusi yang diusulkan dalam penelitian ini adalah merancang bangun purwarupa sistem *monitoring* yang dapat mendeteksi suhu di dalam dan di luar lemari pendingin vaksin, mendeteksi tingkat kelembapan lemari pendingin vaksin, dan mendeteksi posisi lemari pendingin atau kendaraan yang membawa lemari pendingin vaksin. Sistem *monitoring* tersebut mendeteksi secara *real time*. Data yang diambil dari sensor-sensor tersebut dapat diakses pengguna dari jarak jauh melalui *dashboard*.

Hasil akhir dari penelitian ini adalah purwarupa sistem *monitoring* berupa alat yang dapat mendeteksi suhu, tingkat kelembapan, dan juga posisi lemari pendingin vaksin Covid-19 sebagai parameter untuk memonitor lemari pendingin vaksin Covid-19. Data-data dari sensor yang dikumpulkan oleh NodeMCU akan dikirim ke *cloud database* dan ditampilkan pada *dashboard*.

Melalui purwarupa sistem *monitoring* tersebut, petugas pengangkut vaksin dapat memonitor suhu dan kelembapan lemari pendingin dengan mudah, begitu juga rumah sakit ataupun puskesmas dapat memonitor posisi lemari pendingin untuk mengurangi kerusakan vaksin sehingga dapat menghemat biaya, waktu, dan sumber daya. Petugas pengangkut vaksin tidak perlu lagi melakukan *monitoring* vaksin secara manual dan berkala. Secara tidak langsung juga membantu mengurangi terjadinya pembatalan vaksinasi, perubahan jadwal vaksinasi secara tiba-tiba, dan keterlambatan masyarakat menerima vaksin.

Dalam makalah ini, dipaparkan perancangan purwarupa sistem *monitoring* untuk lemari pendingin vaksin menggunakan sensor suhu dan kelembapan yang akan

dihubungkan oleh NodeMCU dan terhubung melalui jaringan *WiFi*. Purwarupa sistem *monitoring* ini diharapkan memberikan kemudahan dalam pemantauan suhu pada lemari pendingin vaksin dalam proses distribusi.

II. METODOLOGI

Dalam perancangan dan pengembangan, dilakukan peninjauan pustaka sebagai dasar dari perancangan sistem. Tinjauan pustaka akan dilakukan dengan melakukan analisis identifikasi masalah, analisis kebutuhan sistem, hingga implementasi.

A. Identifikasi Masalah

Sebagaimana yang telah disebutkan sebelumnya pada latar belakang, bahwa Pemerintah Indonesia sedang mengupayakan agar seluruh masyarakat Indonesia mendapatkan vaksin dengan dosis lengkap. Namun ternyata masih banyak rintangan yang dihadapi oleh Pemerintah Indonesia dalam pendistribusian vaksin ke seluruh Indonesia yang membuat masyarakat Indonesia di beberapa tempat tertentu kurang terjangkau, khususnya yang di luar Pulau Jawa karena proses distribusi vaksin *Covid-19* dari pusat dapat memakan waktu yang lama.

Salah satu tantangan utama dalam distribusi vaksin *Covid-19* adalah kesulitan dalam pemantauan suhu [2], ditambah lagi dengan karakteristik vaksin yang sangat rentan terhadap kerusakan [8] khususnya dalam proses distribusi atau ketika dalam perjalanan ke wilayah tujuan [9].

Karena karakteristik vaksin yang rentan terhadap kerusakan, maka dari itu perlakuan vaksin harus ekstra ketat dan teliti seperti pemeriksaan suhu manual secara berkala [10]. Tentu saja hal tersebut sangat menyulitkan petugas dan memakan waktu karena harus mengecek satu per satu *cold box* atau lemari pendingin pembawa vaksin. Selain itu, pemeriksaan manual juga tidak dapat menjamin karena pemeriksaan tidak dilakukan secara terus-menerus melainkan dilakukan secara berkala.

Pemeriksaan suhu ini sangat penting, karena menjaga kualitas vaksin agar tidak rusak saat proses distribusi bukan perkara yang mudah. Dikarenakan suhu vaksin harus terjaga pada angka 2 sampai 8 derajat celsius selama proses distribusi, jika tidak terjaga maka vaksin akan rusak dan tidak dapat digunakan [10]. Belum lagi ketika petugas tidak mengetahui jika ada tanda-tanda bahaya yang akan merusak vaksin dan kemungkinan tidak dapat dilakukan antisipasi tepat waktu.

Indonesia yang berbentuk kepulauan yang luas juga menjadi kendala dalam proses distribusi, karena selain menempuh perjalanan yang jauh juga memakan waktu yang lebih lama di beberapa daerah atau wilayah di Indonesia. Hal ini dapat menjadi masalah karena saat vaksin dibawa menggunakan *cold box* tentu akan menggunakan *cool pack* yaitu kotak yang berisi air dingin yang memiliki suhu antara 2 derajat sampai 8 derajat celsius tetapi hanya dapat bertahan selama kurang lebih 12 jam [11]. Oleh karena itu, solusi dari permasalahan ini adalah alat pemantauan atau *monitoring* suhu otomatis pada lemari pendingin atau *cold box* pembawa vaksin *Covid-19*.

B. Riset Terkait

Ada beberapa riset yang terkait dengan penelitian ini, yaitu *A Novel Deployment of Smart Cold Chain System using 2G-RFID-Sys Temperature Monitoring in Medicine Cold Chain based on Internet of Things*. Riset ini dilakukan oleh Sergio Montelenone, Mauro Sampaio, dan Rodrigo Filev yang diterbitkan tahun 2017. Riset ini menyajikan model konseptual untuk mengatasi tantangan rantai dingin obat terkait dengan pemantauan suhu berdasarkan IoT dan dapat digunakan untuk meningkatkan respons *cold chain* dengan mempelajari kelemahan dan memutuskan karakteristik *cold chain* yang perlu ditingkatkan [7].

Riset terkait selanjutnya ialah Purwarupa Alat Monitoring Suhu Untuk Rantai Dingin Produk Menggunakan *Near Field Communication* Studi Kasus Distribusi Darah oleh Yusuf Priyandari, I Wayan Suletra, dan Azmi Mas'ud yang diterbitkan tahun 2017. Riset tersebut mengembangkan purwarupa alat *monitoring* suhu yang dapat memberikan informasi suhu di dalam *cold box* selama perjalanan distribusi darah. Informasi suhu di dalam *cold box* selama perjalanan distribusi disimpan dalam *tag* NFC [12].

Selain riset terkait, ditemukan juga produk yang terkait dengan penelitian ini, yaitu In Temp CX Gateway (CX5000) yang dikembangkan oleh PT. Taharica yang berupa lemari pendingin untuk penyimpanan vaksin yang dilengkapi dengan sistem *monitoring* suhu [5]. Berikutnya ada sistem *monitoring* dari PT. Elmecon Multikencana yang dilengkapi dengan sensor pendeteksi suhu yang terintegrasi dengan modul EMS (*Energy Monitoring System*) [13].

C. Sistem Yang Sudah Ada dan Sistem Yang Diusulkan

Sistem eksisting atau sistem yang sudah ada sekarang dikembangkan oleh PT. Taharica dengan nama produk In Temp CX Gateway. Pertama, sistem menerima data suhu di dalam lemari pendingin dan di luar lemari pendingin, lalu sistem akan menampilkan suhu. Jika suhu lemari pendingin melebihi batas yang ditentukan akan bunyi *alert*. Seluruh data yang diterima akan tercatat pada *dashboard*. Untuk gambaran sistem dapat dilihat pada Gambar 1.

Sistem yang diusulkan dalam penelitian ini akan dibuat dengan mengambil data dari sensor suhu dan sensor kelembapan di dalam lemari pendingin, juga dari sensor suhu dan GPS yang dipasang di luar lemari pendingin. Sistem terintegrasi dengan NodeMCU ESP8266. Data suhu, kelembapan, dan lokasi lemari pendingin vaksin yang didapat akan dikirim melalui ESP8266 *WiFi* yang selanjutnya disimpan pada *Google Sheet* dan akan ditampilkan di *dashboard*. Untuk gambaran sistem yang diusulkan dapat dilihat pada Gambar 2.

D. Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan dalam penelitian ini akan berisi penguraian dari sistem untuk mendapatkan informasi dan spesifikasi tentang sistem yang dibutuhkan pengguna. Tahap analisis kebutuhan pada penelitian ini dibagi menjadi analisis kebutuhan fungsional dan analisis kebutuhan non fungsional.

1) Analisis Kebutuhan Fungsional

Analisis kebutuhan fungsional berisi tentang apa saja yang dapat dilakukan oleh sistem untuk pengguna. Pengguna yang dimaksud dalam penelitian ini ialah petugas pengangkut vaksin, rumah sakit, dan puskesmas. Analisis kebutuhan fungsional dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel I.

2) Analisis Kebutuhan Non Fungsional

Analisis kebutuhan non fungsional berisi tentang kebutuhan sistem yang berfokus pada cara kerja yang dimiliki oleh sistem. Analisis kebutuhan non fungsional dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel II.

E. Arsitektur Sistem

Pada sistem *monitoring* lemari pendingin ini, digunakan beberapa komponen, seperti mikrokontroler, sensor suhu, GPS *module*, LCD, *buzzer*.

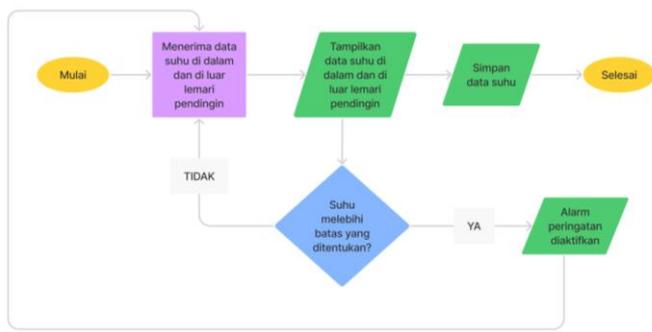
Untuk mengukur suhu dan kelembapan di dalam lemari pendingin digunakan sensor BME280. Untuk mengukur suhu di luar lemari pendingin digunakan sensor AHT10. Untuk mengetahui posisi lemari pendingin digunakan *module* GPS. Terdapat juga LCD untuk menampilkan suhu dan kelembapan di dalam lemari pendingin dan juga *buzzer* yang digunakan sebagai *alert* yang akan berbunyi saat suhu di dalam lemari pendingin di luar *range* suhu 2 °C - 8 °C. Dengan adanya bunyi dari *buzzer* ini diharapkan dapat membantu petugas untuk segera mengetahui lemari pendingin atau *cool box* mana yang sedang bermasalah. Seluruh komponen tersebut akan diintegrasikan dengan mikrokontroler NodeMCU. Setiap pin dari masing-masing sensor dihubungkan ke pin NodeMCU.

TABEL I
KEBUTUHAN FUNGSIONAL

Kode	Kebutuhan Fungsional
F001	Pengguna dapat mengetahui informasi suhu (dalam derajat Celcius) dan kelembapan di dalam lemari pendingin vaksin secara real time melalui <i>dashboard</i>
F002	Pengguna dapat mengetahui informasi suhu (dalam derajat Celcius) di luar lemari pendingin vaksin secara <i>real time</i> melalui <i>dashboard</i>
F003	Pengguna dapat mengetahui informasi lokasi (dalam <i>longitude latitude</i>) lemari pendingin vaksin secara <i>real time</i> melalui <i>dashboard</i>
F004	Alat dapat memberikan <i>alert</i> seperti membunyikan peringatan saat suhu tidak berada dalam suhu yang sudah ditentukan
F005	Perangkat dapat digunakan dalam kondisi bergerak dalam proses distribusi

TABEL II
KEBUTUHAN NON-FUNGSIONAL

Kode	Kebutuhan Non-Fungsional
NF001	Sensor suhu, kelembapan, dan GPS yang digunakan terintegrasi dengan NodeMCU
NF002	Data yang didapatkan dari sensor akan disimpan di <i>database</i>



Gambar 1 Sistem Yang Sudah Ada

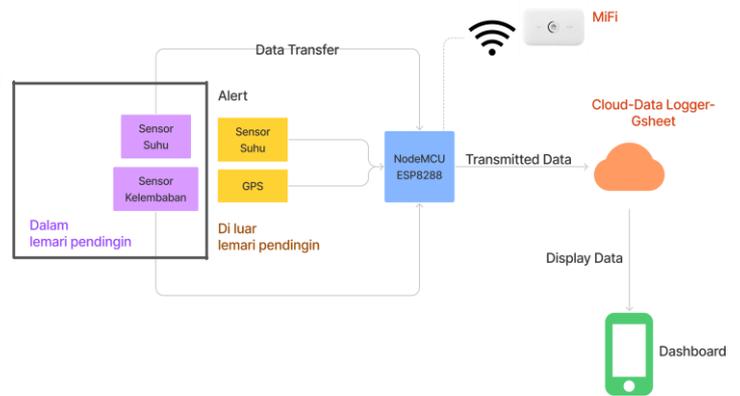
Lalu data yang telah diterima NodeMCU akan dikirim dan disimpan di *database*. *Dashboard* pada sistem *monitoring* lemari pendingin ini akan mengambil data dari *database* untuk ditampilkan seperti pada Gambar 3.

Sensor BME280 adalah sensor digital untuk mengukur suhu, kelembapan, dan tekanan. Sensor BME280 pada penelitian ini akan mengukur suhu dan kelembapan di dalam lemari pendingin. Pemilihan sensor BME280 dikarenakan sensor kelembapan yang dimiliki dapat memberikan respon dalam waktu yang cepat dan sensor suhu dioptimalkan untuk pembacaan yang akurat dan *noise* terendah [14]. Sensor AHT10 adalah sensor digital untuk mengukur suhu dan kelembapan. Sensor AHT10 akan mengukur suhu di luar lemari pendingin. Pemilihan AHT10 ini karena spesifikasi serupa dengan BME280 tetapi dengan harga yang jauh lebih terjangkau. GPS (*Global Positioning System Receiver*) adalah perangkat yang dapat mendeteksi lokasi dengan cara menangkap serta memproses sinyal dari satelit navigasi. GPS *module* yang terpasang pada sistem *monitoring* lemari pendingin ini akan mendeteksi posisi dari lemari pendingin vaksin secara *real time*. Buzzer pada sistem *monitoring* lemari pendingin ini digunakan sebagai *alarm/alert* Ketika suhu di dalam lemari pendingin melewati suhu ketentuan yang sudah ditetapkan. Pemilihan *buzzer* sebagai *alert* alat monitoring dalam penelitian ini dikarenakan *alert* berupa suara lebih baik dibandingkan *alert* berupa lampu. Terakhir adalah mikrokontroler yaitu NodeMCU. Pemilihan NodeMCU sebagai mikrokontroler dikarenakan karakteristik dari NodeMCU yang memiliki modul WiFi yang dikenal dengan sebutan ESP8266, modul tersebutlah yang dapat membuat sistem *monitoring* lemari pendingin vaksin Covid-19 berjalan dan tersambung dengan *database*.

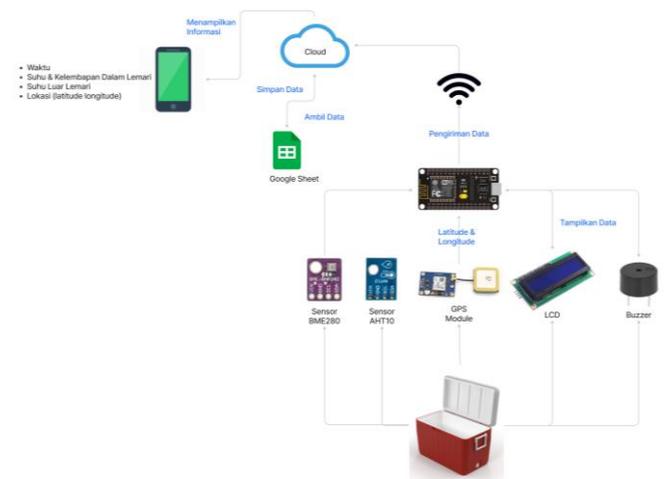
F. Perancangan dan Implementasi Sistem

Perangkat *hardware* yang merupakan fokus dalam penelitian ini tentu saja akan dirancang paling pertama. Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai *schematic* masing-masing sensor dan modul dengan NodeMCU yang dapat dilihat pada Gambar 4.

Selanjutnya akan dirancang *database*. *Database* digunakan untuk menyimpan data dari sensor. *Database* yang digunakan dalam penelitian ini ialah Google Sheet. Data yang diambil dari sensor BME280 yaitu suhu dan kelembapan di dalam lemari pendingin, dari sensor AHT10 berupa suhu di luar



Gambar 2 Sistem Yang Diusulkan



Gambar 3 Arsitektur Sistem

lemari pendingin, dan dari GPS *module* berupa *latitude* dan *longitude* akan langsung dikirim ke Google Sheet menggunakan Google Apps Script. *Database* dibagi menjadi 7 kolom, yaitu Tanggal, Jam, *Latitude*, *Longitude*, Suhu Dalam, *Humidity* Dalam, dan Suhu Luar.

Data dari *database* akan ditampilkan pada sebuah *dashboard*. *Dashboard* akan menerima input data dari *database* yang ada pada *cloud* lalu menampilkan data tersebut. Data yang ditampilkan pada *dashboard* berupa tanggal, posisi lemari pendingin berupa *longitude* dan *latitude*, suhu dan kelembapan di dalam lemari pendingin, dan suhu di luar lemari pendingin. *Dashboard* berupa aplikasi *mobile*.

Dashboard yang dirancang menggunakan *platform* AppSheet dapat dilihat pada Gambar 5. *Dashboard* ini memiliki tiga halaman yaitu Home yang akan menampilkan data *current* pada *database*. Halaman kedua adalah History yang menampilkan tabel histori yang berisi seluruh data dalam *database*. Lalu yang terakhir ada halaman Chart, di mana halaman ini hanya sebagai tambahan visualisasi data saja, dengan menampilkan *chart* yang dapat memvisualisasikan data suhu di dalam lemari pendingin dan data suhu di luar lemari pendingin. Dan fitur notifikasi juga telah berhasil dibuat.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam hasil dan pembahasan, dilakukan pengujian sistem yang telah dibuat beserta dengan analisis hasil pengujian yang telah didapatkan dari sistem *monitoring* dalam penelitian ini.

A. Tujuan Pengujian

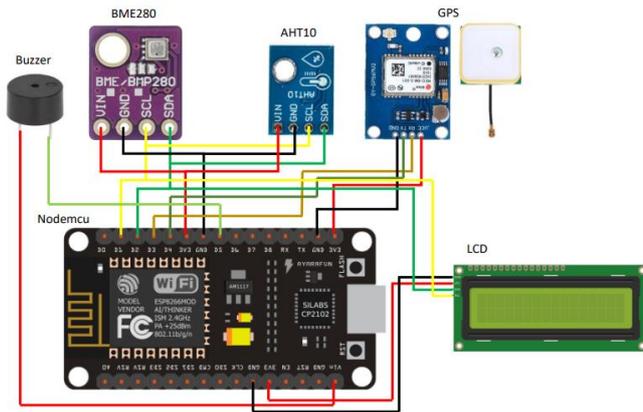
Tujuan dari pengujian ini tentunya untuk mengetahui apakah sistem *monitoring* yang dibuat sudah sesuai dengan kebutuhan yang telah dijabarkan pada analisis kebutuhan, jika belum maka akan dilakukan revisi pada sistem yang telah dibuat agar sesuai dengan kebutuhan.

B. Skenario Pengujian

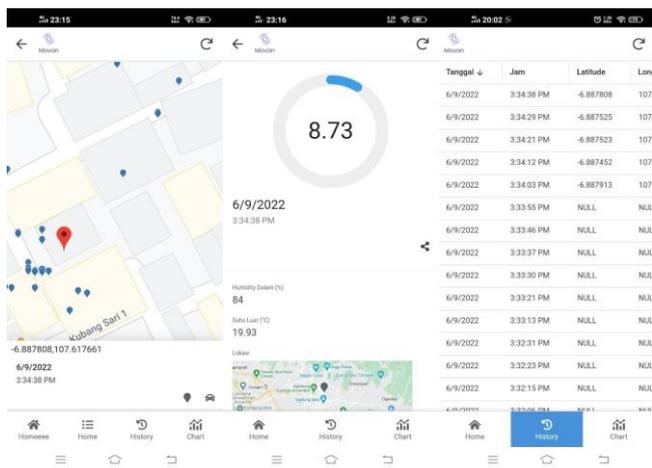
Pengujian dalam penelitian ini akan dilakukan berdasarkan analisis kebutuhan fungsional dan analisis kebutuhan non-fungsional. Skenario pengujian dalam penelitian ini beserta statusnya dapat dilihat pada Tabel III dan Tabel IV.

C. Hasil Pengujian dan Analisis

Selanjutnya akan dijabarkan hasil seluruh pengujian fungsional dan non-fungsional yang telah dilakukan berdasarkan skenario pengujian akan dibandingkan dengan hasil pengukuran alat ukur analog seperti termometer air raksa dan *hygrometer* analog lalu akan dianalisis.



Gambar 4 Skematik Perangkat Keras



Gambar 5 Dashboard

TABEL III
SKENARIO PENGUJIAN FUNGSIONAL

Kode	Tujuan	Skenario Pengujian	Status
F001	Sistem dapat memberikan informasi suhu (dalam derajat Celcius) dan kelembapan di dalam lemari pendingin vaksin secara <i>real time</i> melalui <i>dashboard</i>	a) Skenario Pengujian sensor BME280	Berhasil
		b) Skenario pengujian transfer data ke <i>database</i>	
		c) Skenario pengujian data BME280 di <i>dashboard</i>	
F002	Sistem dapat memberikan informasi suhu (dalam derajat Celcius) di luar lemari pendingin vaksin secara <i>real time</i> melalui <i>dashboard</i>	a) Skenario Pengujian sensor AHT10	Berhasil
		b) Skenario pengujian transfer data AHT10 ke <i>database</i>	
		c) Skenario pengujian data AHT10 di <i>dashboard</i>	
F003	Sistem dapat memberikan informasi lokasi (dalam <i>longitude</i> <i>latitude</i>) lemari pendingin vaksin secara <i>real time</i> melalui <i>dashboard</i>	a) Skenario pengujian <i>GPS module</i>	Berhasil
		b) Skenario pengujian transfer data GPS ke <i>database</i>	
		c) Skenario pengujian data GPS di <i>dashboard</i>	
F004	Alat dapat memberikan <i>alert</i> seperti membunyikan peringatan saat suhu tidak berada dalam suhu yang sudah ditentukan	a) Skenario pengujian <i>buzzer</i>	Berhasil
F005	Perangkat dapat digunakan dalam kondisi bergerak dalam proses distribusi	a) Skenario pengujian pada jalan raya	Berhasil
		b) Skenario pengujian pada jalan berbatu	

TABEL IV
SKENARIO PENGUJIAN NON-FUNGSIONAL

Kode	Tujuan	Skenario Pengujian	Status
NF001	Sensor suhu, kelembapan, dan GPS berhasil terintegrasi dengan NodeMCU	a) Skenario pengujian alat <i>monitoing</i>	Berhasil
NF002	Data yang didapatkan dari sensor akan disimpan di <i>database</i>	a) Skenario pengujian penyimpanan data alat di <i>database</i>	Berhasil

Tujuan perbandingan ini untuk menguji akurasi nilai pengukuran sensor BME280, AHT10, dan GPS module. Dari beberapa pengukuran sensor terdapat selisih pengukuran, persentase error, beserta dengan rata-rata error. Persentase error pengukuran didapatkan dari pembagian nilai selisih pengukuran dengan nilai alat ukur kemudian dikalikan 100.

1) Hasil dan Analisis Suhu Sensor BME280

Hasil pengujian suhu dari sensor BME280 akan dibandingkan dengan termometer air raksa. Hasil pengukuran termometer air raksa diasumsikan sebagai nilai yang sudah akurat. Perbandingan hasil pengukuran BME280 dan termometer dapat dilihat pada Tabel V dan Gambar 6.

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa nilai suhu di dalam lemari pendingin bisa dikatakan tetap stabil dan perbandingan antara suhu sensor dengan termometer memiliki rata-rata error 2,77% yang artinya tingkat akurasi nilai suhu yang didapatkan dari sensor BME280 adalah sebesar 97,23%.

2) Hasil dan Analisis Kelembapan Sensor BME280

Hasil pengujian kelembapan dari sensor BME280 akan dibandingkan dengan *hygrometer* analog. Hasil pengukuran *hygrometer* diasumsikan sebagai nilai yang sudah akurat. Perbandingan hasil pengukuran kelembapan BME280 dan *hygrometer* dapat dilihat pada Tabel VI dan Gambar 7.

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa nilai kelembapan di dalam lemari pendingin bisa dikatakan cukup stabil dan perbandingan antara kelembapan sensor dengan *hygrometer*

memiliki rata-rata error 2,91% yang artinya tingkat akurasi nilai kelembapan yang didapatkan dari sensor BME280 adalah sebesar 97,09%.

3) Hasil dan Analisis Suhu Sensor AHT10

Hasil pengujian suhu dari sensor AHT10 akan dibandingkan dengan termometer air raksa. Hasil pengukuran termometer air raksa diasumsikan sebagai nilai yang sudah akurat. Perbandingan hasil pengukuran AHT10 dan termometer dapat dilihat pada Tabel VII dan Gambar 8.

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa nilai suhu di dalam lemari pendingin bisa dikatakan tetap stabil dan perbandingan antara suhu sensor dengan termometer memiliki rata-rata error 3,38% yang artinya tingkat akurasi nilai suhu yang didapatkan dari sensor AHT10 adalah sebesar 96,62%.

4) Hasil dan Analisis GPS module

Hasil pengujian *latitude longitude* dari GPS module akan dibandingkan dengan GPS *smartphone* (Google Maps). Hasil pengukuran GPS *smartphone* diasumsikan sebagai titik yang sudah akurat. Perbandingan hasil pengukuran GPS module dan GPS *smartphone* (Google Maps) dapat dilihat pada Tabel VIII dan Gambar 9.

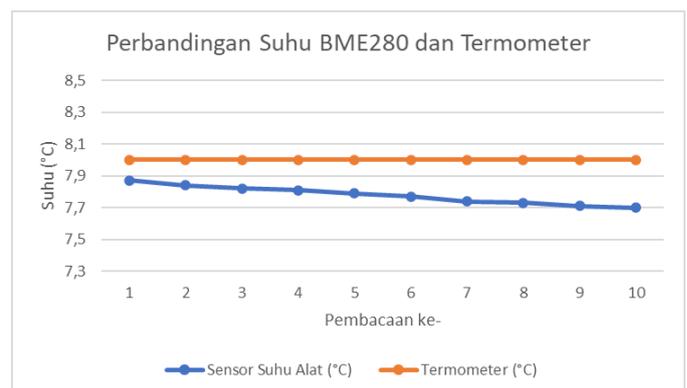
Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa ada selisih jarak antara nilai *latitude longitude* GPS module dan GPS *smartphone* (Google Maps). Selisih jarak dari kedua titik tersebut $\pm 19,97$ meter.

TABEL V
PERBANDINGAN HASIL SUHU BME280 - TERMOMETER

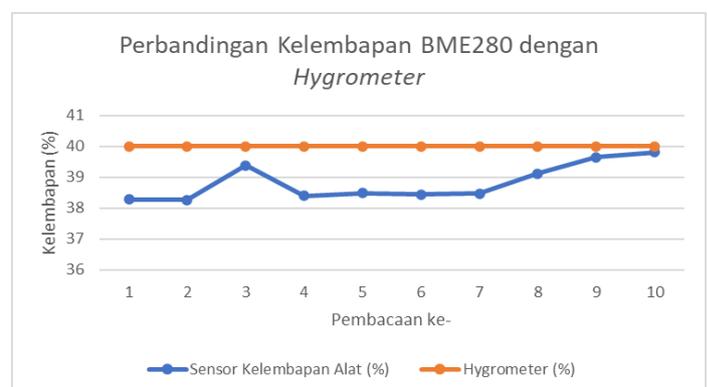
Suhu Sensor (°C)	Termometer (°C)	Selisih	Persentase Error (%)
7,87	8	0,13	1,62
7,84		0,16	2
7,82		0,18	2,25
7,81		0,19	2,37
7,79		0,21	2,62
7,77		0,23	2,87
7,74		0,26	3,25
7,73		0,27	3,37
7,71		0,29	3,62
7,70		0,3	3,75
Rata-Rata Error (%)			2,77

TABEL VI
PERBANDINGAN HASIL KELEMBAPAN BME280 - HYGROMETER

Suhu Sensor (%)	Termometer (%)	Selisih	Persentase Error (%)
38,29	40	1,71	4,27
38,27		1,73	4,32
39,38		0,62	1,55
38,40		1,6	4
38,49		1,51	3,77
38,44		1,56	3,9
38,48		1,52	3,8
39,12		0,88	2,2
39,65		0,35	0,87
39,81		0,19	0,47
Rata-Rata Error (%)			2,91



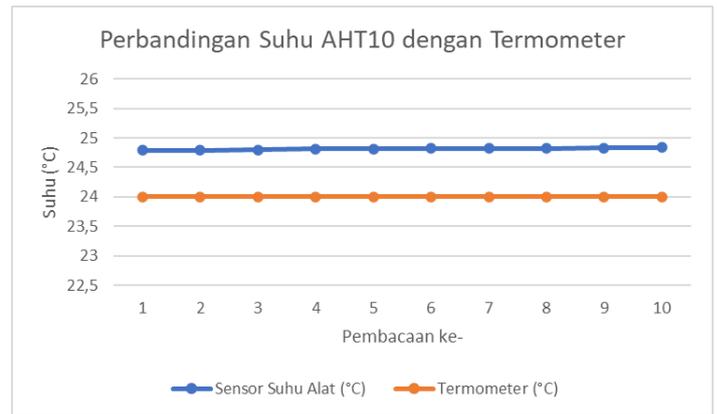
Gambar 6 Grafik Perbandingan Hasil Suhu BME280-Termometer



Gambar 7 Grafik Perbandingan Hasil Kelembapan BME280-Hygrometer

TABEL VII
PERBANDINGAN HASIL SUHU BME280 - TERMOMETER

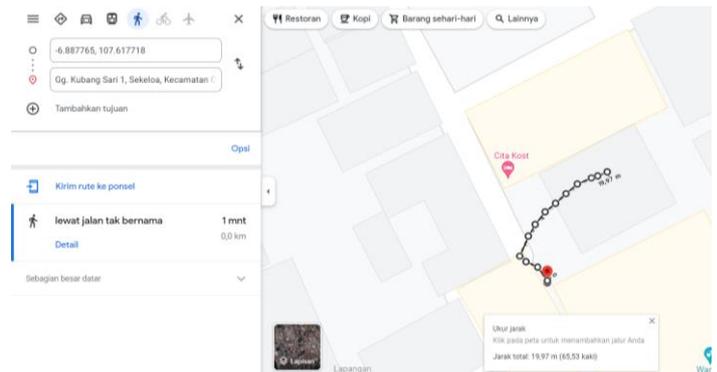
Suhu Sensor (°C)	Termometer (°C)	Selisih	Persentase Error (°C)
24,79		0,79	3,29
24,79		0,79	3,29
24,80		0,8	3,33
24,81		0,81	3,37
24,81	24	0,81	3,37
24,82		0,82	3,41
24,82		0,82	3,41
24,82		0,82	3,41
24,83		0,83	3,45
24,84		0,84	3,5
Rata-Rata Error (%)			3,38



Gambar 8 Grafik Perbandingan Hasil Suhu AHT10-Termometer

TABEL VIII
PERBANDINGAN HASIL KELEMBAPAN GPS MODULE-GPS SMARTPHONE

GPS Module	GPS Smartphone	Gambar Perbandingan
Latitude : -6,887887	Latitude : -6.887765	
Longitude : 107,617653	Longitude : 107.617718	



Gambar 9 Selisih Jarak GPS Module – GPS Smartphone

IV. RANGKUMAN

Setelah melakukan perancangan, implementasi, dan pengujian terhadap sistem *monitoring* lemari pendingin vaksin Covid-19, perlu ditarik kesimpulan untuk mengetahui pencapaian dari penelitian ini.

Yang pertama, penelitian ini telah berhasil merancang bangun sistem *monitoring* lemari pendingin vaksin Covid-19 dalam proses distribusi yang menggunakan sensor suhu, kelembapan, dan juga *GPS module*, serta adanya *buzzer* sebagai *warning system* atau *alert*. Suhu sensor BME280 yang digunakan di dalam lemari pendingin memiliki nilai akurasi 97,23% dengan rata-rata *error* 2,77%. Kelembapan sensor BME280 yang digunakan di dalam lemari pendingin memiliki nilai akurasi 97,09% dengan rata-rata *error* 2,91% saat dilakukan pengujian di dalam lemari pendingin yang berisi *cool pack*. *GPS module* yang digunakan untuk memantau posisi lemari pendingin memiliki selisih jarak dengan ±19,97 meter dengan *GPS smartphone* (Google Maps). Selanjutnya ada *buzzer* yang digunakan sebagai *alert* atau *warning system* berhasil berbunyi saat suhu di dalam lemari pendingin berada di bawah 2°C atau di atas 8°C.

Dan penelitian ini juga telah berhasil merancang *dashboard* berupa aplikasi Movan yang dapat me-*monitoring* keadaan dan juga posisi lemari pendingin vaksin Covid-19. Pada rancang bangun sistem *monitoring* lemari pendingin vaksin Covid-19 ini masih terdapat juga beberapa kekurangan yang dapat dijadikan pengembangan selanjutnya. Seperti perangkat *monitoring* ini masih sangat tergantung pada jaringan WiFi, sehingga mungkin agak menyulitkan jika digunakan di daerah yang susah mendapatkan jaringan internet. Untuk itu diharapkan perangkat sistem *monitoring* lemari pendingin vaksin ini dapat dikembangkan dengan menggunakan teknologi yang lebih ramah terhadap daerah terpencil.

Lalu *GPS module* yang digunakan dalam perangkat *monitoring* lemari pendingin vaksin agak sulit untuk mengambil sinyal jika berada di dalam ruangan, maka untuk pengembangan selanjutnya diharapkan dapat menggunakan *GPS module* yang lebih bagus yang dapat mengambil sinyal walaupun di dalam ruangan. Dan yang terakhir, Aplikasi Movan masih sangat sederhana, maka untuk pengembangan selanjutnya dapat difokuskan untuk mengembangkan aplikasi Movan dengan mempertimbangkan dari faktor UI/UX (*User Interaction Design*) agar lebih *user friendly* dan mengembangkan fitur notifikasi pada aplikasi.

DAFTAR REFERENSI

- [1] S. Ibrahim, dr, M Biomed. (07 Juni 2021). ANALISIS: Tantangan Vaksinasi Covid-19 Global [Daring]. Tersedia: <http://akademik.unika.ac.id/kedokteran/2021/06/07/analisis-tantangan-vaksinasi-Covid-19-global/>. [Diakses: 14 Oktober 2021].
- [2] S. T. Alam, S. Ahmed, S. M. Ali, S. Sarker, A. ul-Islam, "Challenges to COVID-19 vaccine supply chain: Implications for sustainable development goals," *International Journal of Production Economics*, vol. 239, hlm. 1-16, 29 Mei 2021.
- [3] Antara. (30 Juni 2021). 68.000 Vaksin Covid-19 Dibuang karena Pendingin Rusak [Daring]. Tersedia: <https://news.okezone.com/read/2021/06/30/18/2433125/68-000-vaksin-Covid-19-dibuang-karena-pendingin-rusak>. [Diakses: 05 September 2021].
- [4] Redaksi Sehat Negeriku. (09 April 2021). Kemenkes Terbitkan Surat Edaran Informasi Vaksin AstraZeneca, Begini Isinya [Daring]. Tersedia: <https://sehatnegeriku.kemkes.go.id/baca/rilis-media/20210409/3837444/kemenkes-terbitkan-surat-edaran-informasi-vaksin-astrazeneca-begini-isinya/>. [Diakses: 14 Oktober 2021].
- [5] Alat Uji. In Temp CX Gateway (CX5000) [Daring]. Tersedia: <https://alatuji.co.id/product/intemp-cx-gateway-cx5000>. [Diakses 05 September 2021].
- [6] Primex. COVID-19 Vaccine Storage Temperature Monitoring [Daring]. Tersedia: <https://www.primexinc.com/en/solutions/environmental-monitoring/Covid-19-vaccine-storage-monitoring>. [Diakses: 26 September 2021].
- [7] S. Monteleone, M. Sampaio, R.F. Maia, "A Novel Deployment of Smart Cold Chain System using 2G-RFID-Sys Temperature Monitoring in Medicine Cold Chain based on Internet of Things," *IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics*, hlm. 205-210, September 18-20, 2017.
- [8] E. Saputri, "Evaluasi Penyimpanan Sediaan Vaksin Di Gudang Program Dinas Kesehatan Kabupaten Magelang Berdasarkan Pada PERMENKES Nomor 12 Tahun 2017 Tentang Penyelenggaraan Imunisasi Periode April – Juni 2018," Farmasi, Universitas Muhammadiyah Magelang, Magelang, Indonesia, 2018.
- [9] Hidayatullah. (20 Januari 2021). Covid-19: Distribusi vaksin ke pulau di Aceh: 'Mana safety? Kita menggunakan kapal penumpang' [Daring]. Tersedia: <https://www.bbc.com/indonesia/indonesia-55728377>. [Diakses: 20 September 2021].
- [10] Dinas Kesehatan Gorontalo Utara. (07 Februari 2021) Tantangan Distribusi Vaksin Covid19 dari IFK ke Puskesmas di Gorontalo Utara [Daring]. Tersedia: <https://dinkes.gorontalo.gov.id/tantangan-distribusi-vaksin-covid19-dari-ifk-ke-puskesmas-di-gorontalo-utara/>. [Diakses: 13 Oktober 2021].
- [11] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, Gerakan Masyarakat Hidup Sehat, "Pengelolaan Rantai Dingin Vaksin,"
- [12] Y. Priyandari, I W. Suletra, A. Mas'ud, dan A. Nurrohmat, "Purwarupa Alat Monitoring Suhu Untuk Rantai Dingin Produk Menggunakan Near Field Communication Studi Kasus Distribusi Darah," *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, vol. 16, no. 2, hlm. 115-122, Oktober, 2017.
- [13] Elmecon Multikencana. (20 Maret 2021). Sistem Monitoring Fasilitas Dengan IoT [Daring]. Tersedia: <https://elmecon-mk.com/article/sistem-monitoring-fasilitas-dengan-iot/> [Diakses: 26 September 2021].
- [14] Kandrsmith. (2017). *Wide Range of Hygrometers*: DHT22, AM2302, AM2320, AM2321, AM2321, SHT71, HTU21D, Si7021, BME280 [Daring]. Tersedia: https://www.kandrsmith.org/RJS/Misc/Hygrometers/calib_many.html. [Diakses: 27 Mei 2022].

Revysha Diah Octhalia Regina Hiariej, kelahiran kota Makassar. Lulusan SMAN 12 Makassar. Menjalani pendidikan di Institut Teknologi Harapan Bangsa sebagai mahasiswa jurusan *Media and Internet Technology* (MIT).

Dina Angela, kelahiran Bandung, menyelesaikan S1 Jurusan Teknik Elektro bidang Telekomunikasi di Universitas Kristen Maranatha di tahun 1999 dan S2 Jurusan Teknik Elektro bidang Telekomunikasi di Institut Teknologi Bandung di tahun 2003. Bidang penelitian antenna dan propagasi dan sistem komunikasi.

Tunggul Arief Nugroho, memperoleh Sarjana Teknik bidang Elektro diperoleh di ITB pada Oktober 1991 dan Magister Teknik bidang yang sama dengan subbidang Sistem Informasi Telekomunikasi pada Oktober 2001. Minat penelitian pada teknologi *wireless communication* dan aplikasi jaringan sensor nirkabel.