

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Vaksinasi merupakan salah satu strategi utama dalam upaya pencegahan dan pengendalian penyakit menular. Vaksin berperan sebagai *agen biologis* yang mampu merangsang respons sistem kekebalan tubuh untuk membentuk respons imun spesifik terhadap *patogen* tanpa menimbulkan *penyakit klinis*. Vaksin dapat berupa mikroorganisme hidup yang dilemahkan, mikroorganisme yang diinaktivasi, maupun *subunit antigen*, dengan tujuan yang sama, yaitu membentuk *imunitas aktif* terhadap *penyakit infeksi* tertentu. Melalui mekanisme ini, tubuh mampu mengenali serta melawan *patogen* secara lebih efektif apabila terjadi paparan di kemudian hari [1]. Secara global, program vaksinasi terbukti efektif menurunkan angka kesakitan dan angka kematian hingga 95% pada penyakit campak dan polio, serta diperkirakan mampu mencegah 2-3 juta kematian setiap tahun melalui terciptanya kekebalan kelompok (*herd immunity*) [2].

Di Indonesia, program vaksinasi nasional berada di bawah tanggung jawab Kementerian Kesehatan dan dilaksanakan melalui fasilitas pelayanan kesehatan, termasuk Dinas Kesehatan sebagai unit pengelola distribusi vaksin di tingkat daerah. Meskipun target cakupan imunisasi dasar nasional ditetapkan minimal 95%, pelaksanaannya masih menghadapi berbagai kendala, khususnya dalam pengelolaan stok vaksin. Permasalahan yang sering terjadi meliputi fluktuasi kebutuhan vaksin, keterlambatan distribusi, keterbatasan fasilitas *rantai dingin* (suhu optimal 2-8°C), serta proses pencatatan data yang masih dilakukan secara manual sehingga rentan terhadap kesalahan [3]. Kondisi tersebut dapat menyebabkan ketidakseimbangan stok, baik kekurangan (*understocking*) yang menghambat pelayanan imunisasi, maupun kelebihan stok (*overstocking*) yang berpotensi menyebabkan vaksin kadaluarsa dan meningkatkan pemborosan anggaran.

Di Kabupaten Malaka, Provinsi Nusa Tenggara Timur, Dinas Kesehatan memiliki mandat untuk merencanakan, mendistribusikan, serta mengawasi ketersediaan vaksin di seluruh Puskesmas atau Posyandu. Namun dalam praktiknya, pengelolaan stok vaksin di tingkat dinas masih dilakukan secara semimanual menggunakan buku registrasi, laporan periodik, dan *spreadsheet*. Ketergantungan pada pencatatan manual tersebut membuat akurasi data sulit dipertahankan, proses monitoring menjadi lambat, dan perencanaan kebutuhan vaksin sering dilakukan berdasarkan perkiraan tahun sebelumnya tanpa analisis prediktif yang memadai. Situasi ini semakin kompleks ketika terjadi perubahan jumlah sasaran imunisasi, musim penyakit, perpindahan penduduk, serta pelaksanaan kampanye imunisasi nasional. Beberapa laporan internal menunjukkan bahwa Dinas Kesehatan Kabupaten Malaka pernah mengalami ketidaktepatan stok pada beberapa jenis vaksin, terutama saat periode permintaan tinggi. Ketidakefisienan ini berpotensi menghambat kelancaran pelayanan imunisasi, meningkatkan risiko penurunan cakupan vaksinasi daerah, serta memperbesar kemungkinan terjadinya Kejadian Luar Biasa (LKB) penyakit yang dapat dicegah dengan vaksin.

Melihat Kondisi tersebut, diperlukan suatu sistem yang mampu memberikan prediksi ketersediaan stok vaksin secara akurat, cepat, dan berbasis data. Salah satu metode yang tepat digunakan adalah metode *Monte Carlo*, yaitu metode simulasi yang memanfaatkan sampel acak (*random sampling*) untuk memprediksi kondisi masa depan berdasarkan pola data historis. *Monte Carlo* telah banyak digunakan dalam pemodelan ketidakpastian dan pengambilan keputusan karena kemampuannya menghasilkan estimasi yang lebih realistis terhadap variabilitas permintaan. Metode ini menghitung probabilitas dengan tujuan mendapatkan hasil yang optimal sesuai dengan distribusi data yang digunakan. Simulasi *Monte Carlo* bekerja dengan menggunakan data historis sebagai data pelatihan (*Training data*) dalam penerapannya. Salah satu kelebihan metode *Monte Carlo* adalah kemampuan untuk menangani masalah kompleks yang melibatkan ketidakpastian, yang menjadikannya sangat berguna dalam analisis numerik dan simulasi numerik

[4]. Dengan menggunakan data historis vaksin, metode ini dapat mensimulasikan berbagai kemungkinan kebutuhan stok sehingga Dinas Kesehatan dapat merencanakan distribusi secara lebih tepat.

Berdasarkan Kebutuhan tersebut, penelitian ini mengusulkan pengembangan *Sistem Prediksi Ketersediaan Stok Vaksin dengan Metode Monte Carlo di Dinas Kesehatan Kabupaten Malaka Berbasis Website*. Sistem ini dirancang untuk mendukung digitalisasi pengelolaan stok melalui pencatatan terpusat, analisis berbasis data historis 2018-2024, serta penyajian hasil estimasi stok secara *real-time*. Pemanfaatan *platform* berbasis web dipilih karena kemudahan akses, fleksibilitas penggunaan lintas perangkat, serta potensi integritas dengan sistem kesehatan nasional seperti *Satu Sehat* [5].

Penerapan sistem prediksi berbasis web ini diharapkan dapat membantu Dinas Kesehatan Kabupaten Malaka dalam meningkatkan efisiensi perencanaan vaksin, meminimalkan risiko ketidakseimbangan stok, serta memperkuat keberhasilan program imunisasi daerah. Selain itu, inovasi ini berpotensi menjadi model pengelolaan vaksin berbasis digital bagi daerah lain di Indonesia Timur, sekaligus mendukung pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs) poin 3 tentang peningkatan kesehatan dan kesejahteraan masyarakat.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah dalam penelitian ini adalah “ bagaimana merekayasa Sistem Prediksi Ketersediaan Stok Vaksin dengan Metode *Monte Carlo* di Dinas Kesehatan Kabupaten Malaka berbasis *Website*”?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merekayasa dan mengembangkan Sistem Prediksi Ketersediaan Stok Vaksin berbasis *Website* dengan metode *Monte Carlo* sehingga dapat membantu Dinas Kesehatan

Kabupaten Malaka dalam memperkirakan kebutuhan vaksin secara akurat dan mendukung pengambilan keputusan dalam perencanaan distribusi vaksin.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan masalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan pada Dinas Kesehatan Kabupaten Malaka, dengan ruang lingkup terbatas pada proses pengelolaan dan prediksi ketersediaan stok vaksin yang berada di tingkat dinas sebagai penyalur ke Puskesmas.
2. Sistem dikembangkan menggunakan *Framework Laravel* sebagai platform utama aplikasi web, sementara MySQL dipakai untuk penyimpanan serta pengolahan data terkait stok vaksin.
3. Metode *Monte Carlo* digunakan sebagai pendekatan prediksi, yaitu melalui simulasi dengan sampel acak untuk menggambarkan variasi kebutuhan vaksin dan ketidakpastian permintaan di lapangan.
4. Data historis yang digunakan adalah data stok vaksin tahun 2018-2024, namun proses pemodelan prediksi untuk pengujian akurasi menggunakan data tahun 2018-2020 sebagai data pelatihan (*training*) dan data tahun 2021-2024 sebagai pengujian (*testing*) guna mengevaluasi kinerja model prediksi.
5. Ketepatan prediksi diuji dengan membandingkan hasil simulasi *Monte Carlo* terhadap data aktual tahun 2021–2024. Apabila tingkat akurasi memadai, model tersebut akan digunakan untuk memproyeksikan kebutuhan vaksin untuk periode 2025–2030.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dinas Kesehatan Kabupaten Malaka
Hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu Dinas Kesehatan dalam mengatur stok vaksin secara lebih terkontrol. Dengan adanya sistem prediksi berbasis web menggunakan metode *Monte Carlo*, perencanaan

kebutuhan vaksin dapat dilakukan lebih tepat sehingga risiko ketidakseimbangan persediaan baik kekurangan maupun kelebihan dapat diminimalisir. Sistem ini juga mendukung proses pengambilan keputusan menjadi lebih cepat dan berbasis data.

2. Penulis

Penelitian ini memberikan kesempatan bagi penulis untuk memperluas kemampuan dalam membangun aplikasi web menggunakan *Laravel* serta mempraktikkan metode *Monte Carlo* sebagai teknik analisis prediktif. Pengalaman ini menjadi modal penting dalam pengembangan kompetensi akademik maupun persiapan untuk dunia kerja di bidang teknologi informasi.

3. Masyarakat

Manfaat bagi masyarakat muncul secara tidak langsung, yaitu melalui peningkatan efisiensi pelayanan imunisasi. Dengan tersedianya informasi prediksi stok vaksin yang lebih akurat, fasilitas kesehatan dapat memberikan layanan imunisasi secara lebih konsisten sehingga masyarakat memperoleh pelayanan yang lebih baik tanpa terganggu oleh kendala kekurangan vaksin.

4. Peneliti Selanjutnya

Penelitian ini dapat menjadi referensi untuk memperluas ruang lingkup, menambahkan metode prediksi lain, atau meningkatkan fungsi sistem agar dapat menjawab kebutuhan yang lebih kompleks di masa mendatang.

1.6 Daftar Istilah

Bagian ini memuat daftar istilah yang digunakan untuk memberikan penjelasan terhadap istilah teknis, singkatan, dan istilah asing yang berkaitan dengan topik penelitian, sehingga pemaknaan istilah dalam pembahasan menjadi konsisten.

Tabel 1.1 Daftar Istilah

No.	Istilah	Penjelasan
1.	Vaksinasi	Proses pemberian vaksin ke dalam tubuh untuk membentuk kekebalan terhadap penyakit tertentu.
2.	Agen Biologis	Agen biologis adalah zat atau organisme hidup (seperti bakteri, virus, jamur yang dihasilkan oleh mikroorganisme) yang dapat menyebabkan infeksi, alergi, atau toksisitas pada manusia, hewan, atau tanaman.
3.	Penyakit Klinis	Kondisi penyakit yang sudah menunjukkan tanda atau gejala yang dapat diamati melalui pemeriksaan klinis atau dirasakan oleh pasien.
4.	Antigen Inaktif (<i>Inactivated Antigen</i>)	Antigen atau mikroorganisme yang telah dimatikan melalui proses kimia atau fisik, tetapi masih mampu merangsang sistem imun untuk menghasilkan respon kekebalan tanpa menimbulkan penyakit.
5.	Subunit Antigen (<i>Subunit Vaccine Antigen</i>)	Bagian tertentu dari agen biologis (misalnya protein atau polisakarida) yang diambil secara terpisah dan digunakan untuk memicu respon imun tanpa memasukkan seluruh <i>mikroorganisme</i> .
6.	Imunitas Aktif	Kekebalan yang terbentuk ketika tubuh secara alami atau melalui Vaksin memproduksi antibodi dan sel imun sebagai respon terhadap paparan antigen. Imunitas ini biasanya bersifat jangka panjang.
7.	Patogen	Mikroorganisme atau agen biologis seperti

		virus, bakteri, jamur, atau parasit yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia.
8.	Stimulasi Sistem Kekebalan Tubuh	Proses ketika suatu antigen atau Vaksin memicu respon imun, sehingga tubuh menghasilkan antibodi dan sel pertahanan untuk mengenali serta melawan patogen.
9.	Infeksi	Kondisi ketika patogen masuk ke dalam tubuh, berkembang biak, dan menyebabkan gangguan pada fungsi normal tubuh.
10.	<i>Herd Immunity</i>	Kekebalan kelompok yang terjadi ketika sebagian besar populasi telah memiliki kekebalan terhadap penyakit.
11.	<i>Understock</i>	Kondisi kekurangan stok sehingga tidak dapat memenuhi kebutuhan.
12.	<i>Overstock</i>	Kondisi kelebihan stok yang berpotensi menyebabkan pemborosan atau kedaluwarsa.
13.	<i>Monte Carlo</i>	Metode simulasi statistik yang menggunakan bilangan acak untuk memodelkan ketidakpastian.
14.	<i>Linear Congruential Method (LCM)</i>	Metode pembangkitan bilangan acak menggunakan rumus matematika tertentu.
15.	<i>Training Data</i>	Data yang digunakan untuk melatih model prediksi.
16.	<i>Testing Data</i>	Data yang digunakan untuk menguji akurasi dan kinerja model prediksi.
17.	<i>Framework</i>	Kerangka kerja pemrograman yang mempermudah pengembangan aplikasi.
18.	<i>Laravel</i>	Framework PHP berbasis MVC yang digunakan untuk pengembangan aplikasi

		web.
19.	MySQL	Sistem manajemen basis data relasional untuk menyimpan dan mengelola data.
20.	<i>Database</i>	Kumpulan data yang disimpan secara terstruktur dalam sistem komputer.
21.	<i>Waterfall</i>	Model pengembangan perangkat lunak yang dilakukan secara bertahap dan berurutan.
22.	<i>Black Box Testing</i>	Metode pengujian sistem yang berfokus pada <i>input</i> dan <i>output</i> tanpa melihat kode program.
23.	<i>User Acceptance Test (UAT)</i>	Pengujian sistem oleh pengguna untuk menilai kesesuaian dan kemudahan penggunaan.
24.	<i>Dashboard</i>	Tampilan antarmuka yang menyajikan informasi utama secara ringkas dan visual.
25.	<i>Real-time</i>	Kondisi pemrosesan dan penyajian data secara langsung tanpa jeda waktu yang signifikan.
26.	Random Sampling	Teknik pengambilan sampel secara acak dalam proses simulasi.
27.	<i>Sustainable Development Goals (SDGs)</i>	Tujuan pembangunan berkelanjutan yang ditetapkan oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa.
28.	Angka Acak (<i>Random Number</i>)	Bilangan yang dihasilkan secara acak dan digunakan dalam metode <i>Monte Carlo</i> untuk menentukan hasil simulasi berdasarkan probabilitas tertentu.

1.7 Sistematika Penulisan

Pada bagian ini akan dijelaskan sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini. Sistematika penulisan disusun untuk memberikan gambaran mengenai struktur dan alur pembahasan pada setiap bab sehingga isi penelitian dapat dipahami secara runtut. Adapun susunan penulisan skripsi ini meliputi pendahuluan, kajian teori, analisis dan perancangan sistem, implementasi sistem, pengujian dan analisis hasil, serta penutup.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memberikan gambaran umum mengenai penelitian, yang meliputi latar belakang permasalahan, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, daftar istilah, sistematika penulisan, dan metodologi penelitian yang digunakan.

BAB II KAJIAN TEORI

Bab ini menguraikan teori-teori dasar yang berkaitan pengembangan aplikasi berbasis web. Pembahasan mencakup tinjauan pustaka penelitian terdahulu, rujukan penelitian, metode pengembangan sistem, serta teori pendukung seperti konsep sistem, pengelolaan stok vaksin, dan penerapan metode *Monte Carlo* dalam prediksi berbasis data historis. Selain itu dijelaskan juga teknologi pendukung seperti *Laravel*, PHP, dan MySQL, yang digunakan membangun sistem.

BAB III ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM

Bab ini mengupas hasil analisis kebutuhan sistem dan perancangan sistem yang digunakan. Termasuk di dalamnya adalah identifikasi kebutuhan pengguna, peran sistem dalam proses pengelolaan data vaksin, serta perangkat pendukung. Rancangan meliputi desain basis data, diagram alur proses, diagram konteks, serta rancangan antarmuka pengguna untuk memberikan gambaran menyeluruh mekanisme kerja sistem berbasis metode *Monte Carlo*.

BAB IV IMPLEMENTASI SISTEM

Bab ini menjabarkan proses implementasi sistem berdasarkan perancangan sebelumnya. Mulai dari pembuatan tampilan antarmuka pengguna, pemrograman aplikasi, penerapan metode *Monte Carlo* dalam sistem, hingga pengintegrasian *database*. Bab ini juga menyertakan tampilan antarmuka dari berbagai halaman sistem berbasis *website* yang dikembangkan.

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS HASIL

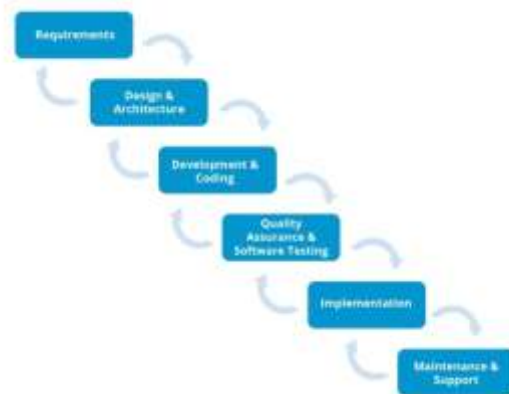
Bab ini membahas kegiatan pengujian sistem untuk memastikan semua fungsi berjalan sesuai kebutuhan, mencakup pengujian proses *input* data, simulasi prediksi stok vaksin menggunakan *Monte Carlo*, dan pemeriksaan *output*. Selain itu dianalisis tingkat akurasi dan keandalan sistem dalam memproyeksikan ketersediaan stok vaksin.

BAB VI PENUTUP

Bab terakhir ini berisi kesimpulan hasil penelitian dan saran untuk pengembangan sistem lebih lanjut agar sistem dapat memberikan performa lebih optimal di masa mendatang.

1.8 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah model pengembangan *Waterfall* atau *Linear Sequential Model*. Model ini merupakan pendekatan klasik dalam pengembangan perangkat lunak yang diperkenalkan oleh Winston Royce pada tahun 1970 dan hingga kini masih banyak digunakan dalam rekayasa perangkat lunak. *Waterfall* menerapkan proses kerja yang sistematis dan berurutan, di mana setiap tahapan harus diselesaikan terlebih dahulu sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya. Tahapan pengembangan dimulai dari perencanaan, analisis, perancangan, pengkodean, pengujian, hingga pemeliharaan. [6]. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Tahap Penelitian Model *Waterfall*

1. *Requirement Analysis* (Analisis Kebutuhan)

Tahap awal penelitian ini difokuskan pada pemahaman kondisi nyata di lapangan serta identifikasi kebutuhan sistem secara menyeluruh. Kegiatan analisis kebutuhan dilakukan melalui observasi langsung, wawancara, dan pengumpulan data historis stok vaksin di Dinas Kesehatan Kabupaten Malaka. Kegiatan penelitian lapangan dilaksanakan pada tanggal 23 Desember 2025, dengan tujuan memperoleh informasi faktual mengenai proses pengelolaan dan pendistribusian vaksin yang berjalan di lingkungan dinas. Dalam pelaksanaan penelitian tersebut, dilakukan koordinasi dan wawancara dengan beberapa pegawai Dinas Kesehatan Kabupaten Malaka, yaitu Octavianus S. Amfotis, S.KM selaku Kepala Bidang Sumber Daya Kesehatan (Kabid SDK), apt. Yulita Ekawati B. Da Silva, S.Farm. selaku Koordinator Instalasi Farmasi Kabupaten (IFK), Fransiskus Ardy Seran S.KM., M.Kes. selaku Koordinator Program Informasi dan Hubungan Masyarakat, Maria G. D. Baria selaku Subbag Kepegawaian dan Hukum, serta Eurasita Bria, S.Kep., Ns. selaku Koordinator Sumber Daya Manusia Kesehatan (SDMK). Kegiatan ini bertujuan untuk memperoleh gambaran menyeluruh terkait kebijakan, alur kerja, serta kendala yang dihadapi dalam pengelolaan vaksin di tingkat dinas. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data historis ketersediaan stok vaksin pada periode tahun 2018 hingga 2024. Data tersebut mencakup 15 jenis vaksin, yaitu *Inactivated Poliovirus Vaccine* (IPV), *Human*

Papillomavirus (HPV), Hepatitis B Dosis 0, Bacillus Calmette Guerin (BCG), pelarut BCG, Measles Rubella (MR), Pelarut Measles Rubella, DPT ComBE Five, Pentavac, Rotavirus, Pneumococcal Conjugate Vaccine (PCV), DT , Polio Oral, Pipet Polio Oral, serta Vaksin Anti Rabies. Data historis tersebut dimanfaatkan sebagai dasar dalam proses analisis dan pengembangan sistem prediksi ketersediaan stok vaksin. Informasi yang diperoleh selanjutnya dianalisis untuk mengidentifikasi berbagai permasalahan, antara lain keterlambatan pelaporan, ketidakakuratan pencatatan data yang masih bersifat manual, serta kesulitan dalam memproyeksikan kebutuhan vaksin pada periode berikutnya. Hasil analisis ini menjadi dasar dalam penentuan kebutuhan fungsional dan nonfungsional sistem, serta sebagai pertimbangan dalam menetapkan kelayakan penggunaan metode *Monte Carlo* sebagai pendekatan prediksi ketersediaan stok vaksin.



Gambar 1.2 Pengambilan Data Stok Vaksin di Dinas Kesehatan
Kab.Malaka

2. *System Design* (Perancangan Sistem)

Setelah kebutuhan diperoleh, tahap berikutnya adalah merancang struktur sistem secara keseluruhan. Proses ini mencakup penyusunan arsitektur aplikasi, pembuatan rancangan *database*, serta desain alur proses yang digambarkan melalui *Flowchart*, DFD, dan ERD. Antarmuka pengguna juga dirancang agar mudah digunakan oleh petugas kesehatan, termasuk menu untuk *input* data, pengelolaan stok vaksin, serta halaman simulasi prediksi. Perancangan dilakukan agar sistem dapat diimplementasikan dengan baik, stabil, dan sesuai dengan tujuan penelitian.

3. *Implementation* (Implementasi)

Tahap implementasi merupakan proses penerjemahan seluruh rancangan ke dalam bentuk aplikasi yang dapat dijalankan. Sistem dibuat menggunakan *framework Laravel* dan *database MySQL*. Modul-modul penting seperti *input* data vaksin, perhitungan distribusi probabilitas, proses simulasi *Monte Carlo*, hingga tampilan hasil prediksi mulai dikembangkan satu per satu. Pada tahap ini, algoritma *Monte Carlo* diintegrasikan untuk mengolah data historis stok dan menghasilkan proyeksi jumlah vaksin pada periode mendatang.

4. *Testing* (Pengujian)

Setelah sistem selesai dibuat, dilakukan pengujian untuk memastikan bahwa semua fungsi berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian dilakukan dengan metode *Black Box Testing*, yang memeriksa setiap fungsi berdasarkan *input* dan *output* tanpa memeriksa kode programnya. Fitur-fitur seperti *login*, pengelolaan data vaksin, serta simulasi prediksi diuji untuk memastikan tidak ada kesalahan pada prosesnya. Selain itu, dilakukan juga *User Acceptance Test* (UAT) kepada petugas kesehatan untuk menilai kemudahan penggunaan dan ketepatan informasi yang ditampilkan.

5. *Deployment* (Penerapan Sistem)

Pada tahap ini sistem diuji coba di lingkungan pengguna untuk memastikan bahwa aplikasi dapat berjalan stabil dan menampilkan informasi prediksi secara benar sesuai data yang dimasukkan. Tahap ini juga digunakan untuk

menilai apakah sistem mampu membantu petugas dalam memantau dan memperkirakan kebutuhan vaksin secara lebih efektif.

6. *Maintenance* (Pemeliharaan)

Pemeliharaan merupakan tahap yang dilakukan setelah sistem beroperasi, yaitu memperbaiki kesalahan kecil, menambah fitur baru, atau memperbarui fungsi agar tetap sesuai kebutuhan. Dalam penelitian ini, pemeliharaan belum sepenuhnya dilakukan karena ruang lingkup penelitian hanya sampai pada tahap implementasi dan pengujian. Tahap ini akan dilanjutkan apabila sistem diterapkan secara resmi oleh Dinas Kesehatan.