

BAB 1

SPESIFIKASI KEBUTUHAN PERANGKAT LUNAK

1.1 Pendahuluan

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) telah mendorong transformasi digital di berbagai sektor, termasuk sektor pertanian. Melalui pemanfaatan sensor, perangkat komunikasi, dan jaringan internet, IoT memungkinkan proses pengumpulan dan pemantauan data dilakukan secara *real-time* sehingga mendukung penerapan konsep *smart agriculture* yang lebih efektif dan efisien (Abdelli et al., 2025; Rizan et al., 2024). Pada perkebunan kelapa sawit, transformasi digital ini sangat mendesak mengingat gulma merupakan kendala utama yang dapat mengurangi produksi tandan buah sawit hingga mencapai 20% (Saleh et al., 2020). Hal ini disebabkan adanya kompetisi antara gulma dan tanaman utama dalam memperebutkan nutrisi tanah, air, serta sinar matahari.

Selain IoT, teknologi *machine learning* juga semakin banyak digunakan untuk membantu proses analisis data dan pengambilan keputusan secara otomatis. *Machine learning* memungkinkan sistem mempelajari pola dari data yang tersedia untuk menghasilkan prediksi yang dapat digunakan sebagai dasar dalam mendukung aktivitas operasional di lapangan. Integrasi antara IoT dan *machine learning* memberikan kemampuan bagi sistem untuk tidak hanya melakukan pemantauan, tetapi juga melakukan analisis dan prediksi berdasarkan kondisi yang terjadi (M et al., 2024).

Salah satu tantangan yang sering dihadapi dalam proses penyemprotan pestisida adalah kesulitan dalam memantau jumlah cairan yang tersisa di dalam tangki penyemprot secara *real-time*. Padahal, distribusi pestisida yang tepat ke tanaman merupakan aktivitas kritis dalam pertanian presisi karena memberikan alternatif yang lebih hemat biaya dan ramah lingkungan dibandingkan penyemprotan konvensional (Pathmudi et al., 2023). Keterbatasan informasi tersebut dapat menyebabkan proses penyemprotan menjadi kurang optimal karena operator tidak mengetahui kondisi tangki secara akurat ketika berada di area pertanian yang luas.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pada proyek ini dikembangkan sebuah sistem penyemprotan gulma berbasis IoT dilengkapi dengan *dashboard monitoring* bernama **AgriSpray** yang berfungsi sebagai memantau dan memprediksi penyemprotan pestisida berbasis *machine learning*. *Dashboard AgriSpray* dirancang untuk menerima data dari sensor yang terpasang pada kendaraan *all-terrain vehicle* (ATV), seperti persentase isi

tangki (*volume percentage*), laju aliran cairan (*flow rate*), dan informasi luas lahan yang akan disemprot. Data tersebut kemudian diproses untuk menghasilkan informasi mengenai status tangki, estimasi luas lahan yang masih perlu disemprot, serta estimasi waktu penyemprotan.

Dalam pengembangannya, **AgriSpray** memanfaatkan model *machine learning* berbasis klasifikasi (*classification*) dan regresi (*regression*). Model klasifikasi digunakan untuk menentukan kondisi tangki, seperti **cukup**, **isi ulang**, **hampir habis**, atau **kritis**, sedangkan model regresi digunakan untuk memprediksi estimasi luas area yang dapat disemprot dan estimasi waktu penyemprotan berdasarkan data yang diperoleh dari sensor. Hasil prediksi tersebut kemudian ditampilkan melalui *dashboard* dalam bentuk informasi dan notifikasi sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan dan pengambilan keputusan secara lebih cepat dan tepat.

Dengan adanya **AgriSpray**, proses penyemprotan dan pemantauan pestisida diharapkan dapat dilakukan secara lebih efektif, efisien, dan terintegrasi. Selain itu, sistem ini diharapkan mampu mendukung penerapan konsep *smart agriculture* melalui integrasi teknologi IoT dan *machine learning* dalam kegiatan pertanian modern.

1.1.1 Siklus Hidup Pengembangan AgriSpray

Dalam pengembangan AgriSpray, tim menggunakan model pengembangan *Prototype*. Metode *Prototype* dipilih karena pengembangan sistem AgriSpray berfokus pada pembuatan sebuah prototype yang membutuhkan proses perancangan, pembuatan, pengujian, evaluasi, dan penyempurnaan secara bertahap. Metode ini memungkinkan tim pengembang untuk memperoleh gambaran awal sistem, melakukan evaluasi terhadap fungsi yang telah dibuat, serta melakukan perbaikan apabila terdapat kebutuhan atau fungsi yang belum sesuai.

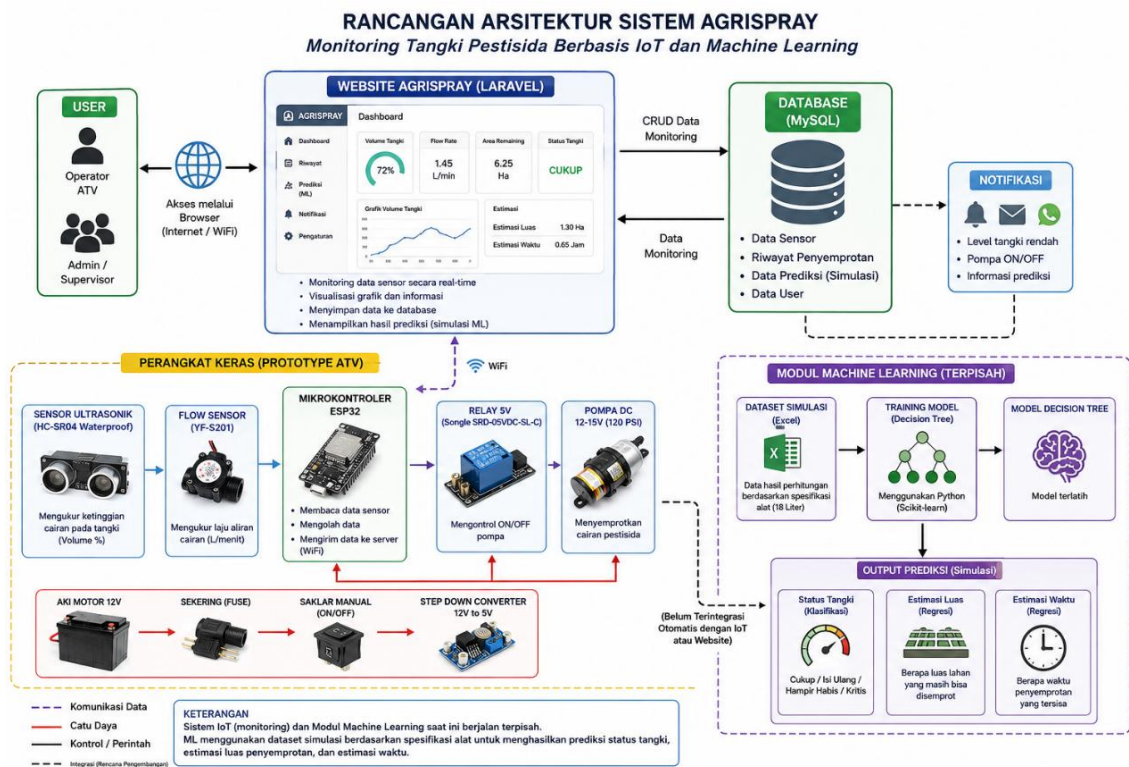
Penggunaan metode *Prototype* sesuai dengan karakteristik AgriSpray yang dikembangkan sebagai sistem berbasis IoT dan *machine learning*. Dalam proses pengembangannya, sistem tidak hanya melibatkan perangkat lunak, tetapi juga perangkat keras seperti ESP32, sensor ultrasonik, *relay*, pompa, dan komponen penyemprotan. Oleh karena itu, proses pengembangan membutuhkan pengujian secara bertahap untuk memastikan perangkat keras, perangkat lunak, komunikasi data, serta fitur pemantauan dapat berjalan sesuai dengan kebutuhan.

Tahap implementasi dilakukan dengan pengembangan AgriSpray menggunakan metode *Prototype* terdiri dari beberapa tahap, yaitu **analisis kebutuhan, perancangan awal, pembuatan prototype, evaluasi dan perbaikan, implementasi, serta pengujian**. Pada tahap analisis kebutuhan, tim melakukan identifikasi kebutuhan pengguna akan sistem penyemprot gulma dan *dashboard* untuk pemantauan tangki pestisida, pengendalian proses penyemprotan, pengolahan data sensor, serta simulasi prediksi menggunakan *machine learning*.

Tahap selanjutnya adalah perancangan awal sistem yang mencakup perancangan arsitektur sistem, perangkat keras, antarmuka *dashboard*, basis data, serta kebutuhan model *machine learning*. Setelah rancangan awal dibuat, dilakukan pembuatan *prototype* dengan mengimplementasikan perangkat keras dan perangkat lunak yang telah dirancang. *Prototype* yang telah dibuat kemudian dievaluasi melalui pengujian terhadap fungsi sistem, perangkat, komunikasi antara perangkat IoT dengan *dashboard*, serta simulasi prediksi *machine learning*. Apabila ditemukan ketidaksesuaian atau kekurangan, dilakukan perbaikan terhadap rancangan maupun implementasi sistem. Proses evaluasi dan perbaikan dilakukan secara berulang hingga sistem mencapai kondisi yang sesuai dengan kebutuhan yang telah ditentukan.

Setelah *prototype* dinyatakan sesuai, dilakukan implementasi dan pengujian keseluruhan sistem pada *prototype* ATV. Pengujian dilakukan untuk memastikan fungsi pemantauan, kontrol penyemprotan, pembacaan sensor, penyimpanan data, serta fitur prediksi dapat berjalan sesuai dengan rancangan. Dengan menggunakan metode *prototyping*, proses pengembangan *dashboard* AgriSpray dapat dilakukan secara lebih fleksibel karena memungkinkan adanya evaluasi dan penyempurnaan sistem berdasarkan hasil pengujian selama proses pengembangan.

Rancangan Arsitektur Sistem AgriSpray dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Rancangan Arsitektur sistem AgriSpray

1.1.2 Tujuan Penulisan Spesifikasi Kebutuhan Sistem

Spesifikasi Kebutuhan Sistem (SKS) bertujuan sebagai acuan teknis bagi pengembang perangkat lunak dalam setiap tahap pengembangan sistem yang dibangun dapat sesuai dengan kebutuhan pengguna. Dokumen SKS ini digunakan untuk mendefinisikan kebutuhan sistem secara jelas dan terstruktur sehingga membantu pengembang dalam proses analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian, hingga *deployment*.

Dari sisi pengembang (*developer*), dokumen SKS bermanfaat sebagai pedoman dalam memahami fungsi, fitur, serta kebutuhan sistem yang harus dipenuhi selama proses pengembangan. Sedangkan dari sisi pengguna, dokumen SKS bertujuan untuk mendokumentasikan kebutuhan, harapan, serta fungsi yang diinginkan dari sistem yang akan dikembangkan sehingga sistem yang dihasilkan dapat membantu pengguna dalam menyelesaikan permasalahan yang ada.

Dokumen SKS ini memuat spesifikasi kebutuhan dari pengembangan sistem **AgriSpray**, yaitu sistem penyemprotan pestisida berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan *dashboard* pemantauan dan prediksi berbasis *machine learning* pada kendaraan *All-Terrain Vehicle* (ATV). *Dashboard AgriSpray* dikembangkan untuk membantu pengguna dalam memantau kondisi tangki pestisida secara *real-time*, memperoleh informasi estimasi penyemprotan, serta menerima notifikasi berdasarkan hasil analisis data sensor.

Allah SWT berfirman:

﴿وَلَا تُسْرِفُوا إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِينَ﴾

"Janganlah kamu berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berlebih-lebihan." (Q.S. Al-A'raf [7]: 31) (2019)

Berdasarkan (*Web Quran | Tafsir QS. Al-A'raf Ayat 31*, n.d.), ayat tersebut menjelaskan bahwa manusia diperintahkan untuk menggunakan nikmat yang diberikan Allah SWT secara bijaksana dan tidak berlebihan. Penggunaan pestisida yang tidak terkontrol dapat menyebabkan pemborosan sumber daya serta berdampak buruk terhadap lingkungan. Oleh karena itu, sistem **AgriSpray** dapat membantu mengurangi pemborosan melalui pemantauan dan prediksi penggunaan pestisida secara lebih akurat.

Selain itu, Allah SWT berfirman:

﴿وَتَعَاوَنُوا عَلَى الْبِرِّ وَالتَّقْوَىٰ﴾

"Dan tolong-menolonglah kamu dalam (mengerjakan) kebajikan dan takwa." (Q.S. Al-Maidah [5]: 2)(Kementerian Agama Republik Indonesia, 2019)

Menurut (*Web Quran | Tafsir QS. Al-Ma'idah Ayat 2*, n.d.) ayat tersebut memerintahkan umat Islam untuk saling membantu dalam kebaikan dan kemanfaatan bagi sesama. Pengembangan sistem **AgriSpray** merupakan salah satu bentuk pemanfaatan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk membantu pekerjaan petani agar lebih efektif dan efisien.

Rasulullah ﷺ juga bersabda:

لِلنَّاسِ أَنْفَعُهُمْ النَّاسُ خَيْرُ

"Sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi manusia lainnya." (H.R. Ahmad)

Hadits tersebut menjelaskan bahwa manusia yang terbaik adalah mereka yang memberikan manfaat kepada orang lain. Pengembangan sistem **AgriSpray** diharapkan dapat memberikan manfaat bagi pengguna dengan membantu proses pemantauan penyemprotan pestisida secara lebih optimal sehingga dapat meningkatkan efektivitas pekerjaan dan mengurangi potensi kerugian akibat penggunaan pestisida yang tidak efisien.

Berdasarkan ayat Al-Qur'an dan hadits tersebut, permasalahan ini layak untuk diselesaikan karena bertujuan memberikan kemudahan dalam pengelolaan kegiatan pertanian, membantu mengurangi pemborosan sumber daya, meningkatkan efisiensi penggunaan pestisida, serta memberikan manfaat bagi masyarakat melalui pemanfaatan teknologi yang sesuai dengan prinsip kemaslahatan dalam Islam.

Selain itu, Islam juga mendorong umatnya untuk memanfaatkan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam kehidupan sehari-hari selama digunakan untuk tujuan yang baik dan memberikan kemanfaatan. Dengan adanya penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) serta simulasi prediksi berbasis *machine learning* pada *dashboard AgriSpray*, proses pemantauan tangki pestisida dapat dilakukan secara lebih *modern*, akurat, dan efisien sehingga membantu pengguna dalam mengambil keputusan selama proses penyemprotan berlangsung.

Berdasarkan ayat Al-Qur'an dan hadits tersebut, permasalahan ini layak untuk diselesaikan karena bertujuan memberikan kemudahan dalam pengelolaan kegiatan pertanian, membantu mengurangi pemborosan sumber daya, meningkatkan efisiensi penggunaan pestisida, serta memberikan manfaat bagi masyarakat melalui pemanfaatan teknologi yang sesuai dengan prinsip kemaslahatan dalam Islam.

1.1.3 Cakupan Produk

AgriSpray merupakan sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk penyemprotan pestisida yang dilengkapi dengan *dashboard* pemantauan dan simulasi prediksi menggunakan metode *machine learning*. Sistem ini dikembangkan untuk membantu

pengguna dalam penyemprotan gulma pada perkebunan dengan memantau kondisi tangki pestisida pada kendaraan *All-Terrain Vehicle* (ATV).

Data hasil pemantauan digunakan sebagai *dataset* untuk simulasi prediksi menggunakan metode *machine learning* berbasis algoritma *DecisiON Tree*. Proses prediksi dilakukan secara terpisah menggunakan data yang telah dikumpulkan sebelumnya dan belum terintegrasi secara otomatis dengan sistem IoT maupun *dashboard*.

Permasalahan utama yang ingin diselesaikan pada pengembangan sistem **AgriSpray** adalah proses penyemprotan pestisida dan pemantauan yang masih dilakukan secara manual. Dalam proses penyemprotan di lapangan, pengguna sering mengalami kesulitan dalam mengetahui jumlah cairan pestisida yang tersisa di dalam tangki, estimasi luas lahan yang masih dapat disemprot, serta estimasi waktu penyemprotan yang dibutuhkan. Selain itu, pengguna juga kesulitan mengetahui kapan tangki harus segera diisi ulang karena tidak adanya sistem pemantauan dan notifikasi otomatis.

Kurangnya sistem pemantauan tersebut dapat menyebabkan beberapa permasalahan seperti pemborosan penggunaan pestisida, keterlambatan proses penyemprotan, penurunan efisiensi kerja, hingga potensi kerusakan lingkungan akibat penggunaan pestisida yang tidak terkontrol. Oleh karena itu, diperlukan sebuah sistem yang mampu membantu proses penyemprotan dan pemantauan kondisi tangki penyemprotan secara lebih efektif dan efisien.

Permasalahan ini dianggap penting karena kegiatan penyemprotan pestisida merupakan salah satu aktivitas utama dalam sektor pertanian yang memerlukan pengelolaan sumber daya secara tepat. Penggunaan pestisida yang tidak efisien dapat meningkatkan biaya operasional dan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Selain itu, perkembangan teknologi *Smart Agriculture* saat ini mendorong penerapan teknologi digital untuk meningkatkan produktivitas dan efektivitas kegiatan pertanian melalui pemanfaatan sensor, IoT, dan *Machine Learning*.

Permasalahan ini juga perlu diselesaikan karena perkembangan teknologi IoT telah memungkinkan proses pemantauan dilakukan secara *real-time*. Selain itu, teknologi *machine learning* dapat dimanfaatkan sebagai simulasi prediksi berdasarkan data pemantauan yang telah dikumpulkan sebelumnya sehingga dapat membantu proses analisis penggunaan pestisida secara lebih efektif. Dengan adanya teknologi tersebut, proses pengambilan keputusan dapat dilakukan dengan lebih cepat dan akurat sehingga

membantu meningkatkan efisiensi kerja di bidang pertanian. Selain itu, penerapan teknologi pada sektor pertanian juga menjadi salah satu langkah untuk mendukung *modernisasi* sistem pertanian di era digital.

Sistem **AgriSpray** dikembangkan dengan memanfaatkan sensor dan mikrokontroler untuk mengambil data kondisi tangki penyemprotan secara *real-time*. Data pemantauan tersebut ditampilkan melalui *Dashboard* berbasis *web* dan juga digunakan sebagai *dataset* dalam simulasi prediksi menggunakan metode *machine learning* berbasis algoritma *DecisiON Tree*. Proses prediksi dilakukan secara terpisah menggunakan data yang telah dikumpulkan sebelumnya.

Dari sudut pandang agama Islam, pengembangan sistem **AgriSpray** layak untuk dilakukan karena bertujuan membantu manusia dalam mengelola sumber daya pertanian secara lebih baik melalui pemanfaatan ilmu pengetahuan dan teknologi. Islam mengajarkan umatnya untuk menjaga keseimbangan, bekerja secara profesional, serta memanfaatkan kemampuan berpikir yang telah diberikan Allah SWT untuk kemaslahatan hidup.

Allah SWT berfirman:

هُوَ الَّذِي جَعَلَ لَكُمُ الْأَرْضَ ذُلُولًا فَامْشُوا فِي مَنَاكِبِهَا وَكُلُوا مِنْ رِزْقِهِ وَإِلَيْهِ النُّشُورُ



“Dialah yang menjadikan bumi itu mudah bagi kamu, maka berjalanlah di segala penjurunya dan makanlah sebagian dari rezeqi-Nya. Dan hanya kepada-Nya lah kamu kembali setelah dibangkitkan.” (Q.S. Al-Mulk [67]: 15)

Berdasarkan (*Web Quran | Tafsir QS. Al-Mulk Ayat 15*, n.d.), ayat tersebut menjelaskan bahwa Allah SWT memberikan kemudahan kepada manusia untuk memanfaatkan bumi dan seluruh sumber daya di dalamnya dengan cara yang baik dan bertanggung jawab. Pemanfaatan teknologi pada sistem **AgriSpray** merupakan salah satu bentuk usaha manusia dalam mengelola sektor pertanian secara lebih efektif dan efisien.

Selain itu, Allah SWT juga berfirman:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا

*“Dan janganlah kamu membuat kerusakan di bumi setelah (Allah) memperbaikinya.”
(Q.S. Al-A’raf [7]: 56)*

Menurut (*Web Quran | Tafsir QS. Al-A’raf Ayat 56*, n.d.), ayat tersebut menjelaskan larangan melakukan kerusakan di bumi yang dapat merugikan manusia maupun lingkungan sekitar. Penggunaan pestisida yang tidak terkontrol berpotensi menyebabkan pemborosan dan kerusakan lingkungan. Oleh karena itu, sistem **AgriSpray** dikembangkan untuk membantu proses penyemprotan dan pemantauan penggunaan pestisida agar lebih terukur dan efisien.

Rasulullah ﷺ juga bersabda:

شَيْءٌ كُلٌّ عَلَى الْإِحْسَانِ كَتَبَ اللَّهُ إِنَّ

*“Sesungguhnya Allah mewajibkan berbuat ihsan (baik dan optimal) dalam segala hal.”
(H.R. Muslim)*

Hadits tersebut menjelaskan bahwa setiap pekerjaan hendaknya dilakukan secara baik, tepat, dan optimal. Pengembangan sistem **AgriSpray** bertujuan membantu pengguna melakukan pemantauan penyemprotan pestisida secara lebih efektif dan akurat melalui pemanfaatan teknologi IoT dan simulasi prediksi berbasis *machine learning*.

Selain itu, Rasulullah ﷺ juga bersabda:

الْجَنَّةُ إِلَى طَرِيقًا بِهِ لَهُ اللَّهُ سَهْلٌ عِلْمًا فِيهِ يُلْتَمَسُ طَرِيقًا سَلَكَ مَنْ

“Barangsiapa menempuh jalan untuk mencari ilmu, maka Allah akan memudahkan baginya jalan menuju surga.” (H.R. Muslim)

Hadits tersebut menjelaskan pentingnya mempelajari dan mengembangkan ilmu pengetahuan yang bermanfaat bagi kehidupan manusia. Pemanfaatan teknologi *modern* seperti *Internet of Things* (IoT) dan *machine learning* dalam sistem **AgriSpray** merupakan salah satu bentuk penerapan ilmu pengetahuan untuk membantu meningkatkan kualitas pekerjaan di bidang pertanian.

Rasulullah ﷺ juga bersabda:

الْقِيَامَةِ يَوْمَ كُرْبٍ مِنْ كُرْبَةٍ عَنْهُ اللَّهُ نَفْسٌ، الدُّنْيَا كُرْبٍ مِنْ كُرْبَةٍ مُؤْمِنٍ عَنْ نَفْسٍ مَنْ

“Barangsiapa yang menghilangkan kesusahan dari kesusahan-kesusahan dunia orang mukmin, maka Allah akan menghilangkan kesusahan dari kesusahan-kesusahan hari kiamat.” (H.R. Muslim)

Hadits tersebut menjelaskan bahwa membantu mempermudah urusan orang lain merupakan perbuatan yang dianjurkan dalam Islam. Pengembangan sistem **AgriSpray** diharapkan dapat membantu pengguna dalam melakukan pemantauan penyemprotan pestisida secara lebih mudah, cepat, dan efisien sehingga dapat meningkatkan efektivitas pekerjaan di lapangan.

Allah SWT berfirman:

وَهُوَ الَّذِي أَنشَأَ جَنَّاتٍ مَعْرُوشَاتٍ وَغَيْرَ مَعْرُوشَاتٍ وَالنَّخْلَ وَالزَّرْعَ مُخْتَلِفًا أَكُلُهُ

وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَّانَ مُتَشَابِهًا وَغَيْرَ مُتَشَابِهٍ كُلُوا مِنْ ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَآتُوا حَقَّهُ يَوْمَ

حَصَادِهِ وَلَا تُسْرِفُوا إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِينَ ﴿١٤١﴾

“Dialah yang menumbuhkan tanaman-tanaman yang merambat dan yang tidak merambat, pohon kurma, tanaman yang beraneka ragam rasanya, serta zaitun dan delima yang serupa (bentuk dan warnanya) dan tidak serupa (rasanya). Makanlah buahnya apabila ia berbuah dan berikanlah haknya (zakatnya) pada waktu memetik hasilnya. Akan tetapi, janganlah berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berlebih-lebihan” (Q.S. Al-An’am [6]: 141)

Berdasarkan (*Web Quran | Tafsir QS. Al-An’am Ayat 141*, n.d.), ayat tersebut menjelaskan bahwa manusia diperintahkan untuk memanfaatkan hasil pertanian secara bijaksana dan tidak berlebihan. Penggunaan pestisida yang tidak terkontrol dapat menyebabkan pemborosan sumber daya dan berdampak buruk terhadap lingkungan. Oleh karena itu, sistem **AgriSpray** dikembangkan untuk membantu penyemprotan dan pemantauan penggunaan pestisida agar lebih efisien dan tepat guna.

Selain itu, Rasulullah ﷺ bersabda:

إِنَّ اللَّهَ يُحِبُّ إِذَا عَمِلَ أَحَدُكُمْ عَمَلًا أَنْ يُتْقِنَهُ

“Sesungguhnya Allah mencintai seseorang yang apabila bekerja, ia menyempurnakan pekerjaannya.” (H.R. Al-Baihaqi)

Hadits tersebut menjelaskan bahwa setiap pekerjaan hendaknya dilakukan secara maksimal, teliti, dan profesional. Pengembangan sistem **AgriSpray** merupakan bentuk penerapan teknologi untuk membantu proses penyemprotan pestisida dan pemantauan secara lebih efektif, akurat, dan efisien sehingga pekerjaan dapat dilakukan dengan lebih optimal.

Berdasarkan ayat Al-Qur'an dan hadits, pengembangan sistem **AgriSpray** layak untuk dilakukan karena bertujuan membantu pengelolaan pertanian secara lebih baik, memanfaatkan teknologi untuk kemaslahatan masyarakat, mengurangi potensi pemborosan dan kerusakan lingkungan, serta membantu mempermudah pekerjaan manusia sesuai dengan prinsip-prinsip dalam ajaran Islam.

1.1.4 Definisi, Singkatan, dan Akronim

SKS: Spesifikasi Kebutuhan Sistem

IoT: *Internet of Things*

ATV: *All-Terrain Vehicle*

ML: *Machine Learning*

AI: *Artificial Intelligence*

ESP32: Mikrokontroler berbasis *wi-fi* dan *Bluetooth* untuk sistem IoT

Flow rate: Laju aliran cairan yang keluar dari tangki penyemprotan

Volume Percentage: Persentase isi cairan dalam tangki pestisida

Area remaining: Sisa luas area yang belum dilakukan penyemprotan

Regression: Metode *machine learning* untuk memprediksi nilai numerik

Classification: Metode *machine learning* untuk mengelompokkan data ke dalam kategori tertentu

Real-time: Proses pengolahan dan pengiriman data secara langsung saat sistem berjalan

Smart Agriculture: Konsep pertanian *modern* berbasis teknologi digital dan otomatisasi

Sensor: Perangkat yang digunakan untuk membaca atau mendeteksi kondisi tertentu pada sistem

Database: Tempat penyimpanan data pada sistem

API: *Application Programming Interface*

Web Monitoring: Sistem pemantauan berbasis *Website*

Decision Tree: *Algoritma machine learning* berbentuk struktur pohon keputusan

Notifikasi: Pemberitahuan otomatis yang diberikan sistem kepada pengguna

Deployment: Tahap penerapan atau pemasangan sistem agar dapat digunakan oleh pengguna

Prototype: Model pengembangan perangkat lunak yang menggunakan *prototype* awal untuk memperoleh gambaran sistem, kemudian dilakukan evaluasi dan penyempurnaan secara bertahap hingga menghasilkan sistem yang sesuai dengan kebutuhan.

1.1.5 Deskripsi Umum Bab

Dokumen Spesifikasi Kebutuhan Sistem (SKS) sistem **AgriSpray** disusun secara sistematis untuk memberikan gambaran mengenai kebutuhan dan proses pengembangan sistem yang akan dibangun. Dokumen ini terdiri dari beberapa bagian pembahasan yang saling berkaitan guna mempermudah proses perancangan, implementasi, serta pengembangan perangkat lunak.

Bab pertama merupakan pendahuluan yang berisi latar belakang pengembangan sistem **AgriSpray**, tujuan penulisan dokumen SKS, cakupan produk, definisi istilah, singkatan, dan akronim, serta sistematika pembahasan dokumen.

Bab kedua membahas deskripsi umum perangkat lunak yang mencakup gambaran umum sistem **AgriSpray**, fungsi utama sistem, karakteristik pengguna, batasan sistem, asumsi dan ketergantungan sistem, serta lingkungan operasional perangkat lunak.

Bab ketiga membahas kebutuhan fungsional sistem yang meliputi proses pemantauan tangki pestisida, pengolahan data sensor, prediksi status tangki menggunakan metode *machine learning*, estimasi luas penyemprotan, estimasi waktu penyemprotan, serta sistem notifikasi otomatis kepada pengguna.

Bab keempat membahas fitur-fitur utama yang tersedia pada *dashboard AgriSpray*, seperti pemantauan data secara *real-time*, *dashboard* pemantauan berbasis *web*, pengelolaan data penyemprotan, dan fitur prediksi berbasis *Artificial Intelligence* (AI).

Bab kelima membahas kebutuhan nonfungsional sistem yang mencakup kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak, performa sistem, keamanan data, kompatibilitas sistem, kebutuhan jaringan internet, serta kebutuhan antarmuka pengguna pada *dashboard AgriSpray*.

1.2 Deskripsi Umum Perangkat Lunak

1.2.1 Perspektif Produk

AgriSpray merupakan sistem penyemprotan pestisida pembasmi gulma pada berbasis IoT dengan *dashboard* berbasis *web* yang dikembangkan untuk membantu proses pemantauan dengan simulasi prediksi *Machine Learning*. Sistem ini dirancang sebagai produk baru (*new product*) yang berfokus pada sistem penyemprotan dengan kendali otomatis lewat *web* dengan pemantauan kondisi tangki pestisida secara *real-time*, prediksi status tangki, estimasi luas penyemprotan, serta estimasi waktu penyemprotan berdasarkan data sensor yang diperoleh dari perangkat IoT.

Pengembangan sistem **AgriSpray** dilakukan untuk membantu pengguna dalam memantau penggunaan pestisida agar lebih efektif, efisien, dan terukur. Sistem ini memanfaatkan sensor untuk membaca kondisi tangki penyemprotan seperti persentase volume cairan, laju aliran cairan (*flow rate*), serta sisa area lahan yang belum dilakukan penyemprotan. Data yang diperoleh kemudian dikirimkan ke *dashboard* berbasis *web* untuk diproses menggunakan metode *machine learning* sehingga dapat menghasilkan prediksi status tangki dan estimasi penyemprotan secara otomatis.

Sistem **AgriSpray** dikembangkan sebagai sistem mandiri (*self-contained product*) yang dapat terhubung dengan perangkat keras berbasis IoT seperti ESP32 dan sensor pendukung lainnya. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama yaitu perangkat

sensor, *mikrokontroler*, *server*, *database*, model *machine learning*, dan antarmuka berbasis *web*.

Secara umum, alur kerja sistem dimulai dari menyalakan sistem baik secara otomatis lewat *dashboard* atau secara manual pada perangkat keras. Selanjutnya, proses pembacaan data oleh sensor pada tangki penyemprotan. Data sensor kemudian dikirimkan melalui mikrokontroler ESP32 menuju *server* untuk diproses dan disimpan ke dalam *database*. Kemudian sistem akan melakukan prediksi menggunakan model *machine learning* untuk menentukan status tangki, estimasi luas penyemprotan, dan estimasi waktu penyemprotan. Hasil prediksi tersebut kemudian ditampilkan pada *dashboard* dan dapat digunakan sebagai bahan pemantauan oleh pengguna.

Produk sejenis yang telah ada umumnya hanya berfokus pada pemantauan tangki berbasis IoT tanpa adanya fitur prediksi berbasis *artificial intelligence*. Selain itu, beberapa sistem pemantauan pertanian hanya menampilkan data sensor tanpa memberikan analisis atau estimasi penggunaan pestisida secara otomatis. Hal tersebut menyebabkan pengguna masih harus melakukan perhitungan secara manual untuk menentukan kondisi tangki dan estimasi penyemprotan.

Kelebihan sistem **AgriSpray** dibandingkan produk sejenis adalah adanya integrasi antara teknologi IoT dan *machine learning* dalam satu sistem pemantauan. Sistem tidak hanya menampilkan data sensor secara *Real-time*, tetapi juga mampu melakukan prediksi status tangki, estimasi luas area yang dapat disemprot, serta estimasi waktu penyemprotan secara otomatis. Selain itu, *dashboard AgriSpray* juga dilengkapi dengan fitur notifikasi otomatis untuk membantu pengguna dalam mengambil keputusan saat proses penyemprotan berlangsung.

Namun demikian, **AgriSpray** masih memiliki beberapa keterbatasan, seperti ketergantungan terhadap koneksi internet dan akurasi data sensor yang digunakan. Selain itu, model *machine learning* yang digunakan masih bergantung pada *dataset* pelatihan sehingga kualitas prediksi dapat dipengaruhi oleh kualitas data yang dimiliki sistem.

Perbedaan utama antara **AgriSpray** dengan produk sejenis terletak pada penerapan metode *artificial intelligence* untuk melakukan prediksi kondisi penyemprotan secara otomatis berdasarkan data sensor yang diperoleh secara *real-time*. Dengan demikian, **AgriSpray** diharapkan mampu mendukung konsep *Smart Agriculture* melalui pemanfaatan teknologi digital dan otomatisasi dalam kegiatan pertanian *modern*.

1.2.2 Fungsi Produk

Secara umum, **AgriSpray** dibuat untuk membantu petani dan operator kendaraan penyemprot gulma dalam melakukan pemantauan penggunaan pestisida secara *real-time*, memprediksi kondisi tangki penyemprotan, serta memberikan informasi estimasi penyemprotan berdasarkan data yang diperoleh dari sensor IoT dan diproses menggunakan metode *machine learning*. Dengan adanya *dashboard AgriSpray*, proses penyemprotan dapat dilakukan secara lebih efektif, efisien, dan terukur.

Fungsi utama dari **AgriSpray** adalah sebagai berikut:

1. Mengontrol *on/of* dan kondisi *hardware* secara otomatis.
2. Melakukan pemantauan kondisi tangki pestisida secara *real-time* berdasarkan data yang diperoleh dari sensor IoT.
3. Menampilkan informasi *volume* pestisida yang tersedia dalam tangki penyemprotan.
4. Menampilkan nilai laju cairan (*flow rate*) selama proses penyemprotan berlangsung.
5. Menampilkan informasi luas lahan yang belum dilakukan penyemprotan (*area remaining*)
6. Melakukan prediksi status tangki menggunakan metode *machine learning* dengan kategori kondisi seperti **cukup**, **isi ulang**, **hampir habis**, dan **kritis**.
7. Menghasilkan estimasi luas lahan yang masih dapat disemprot berdasarkan kondisi tangki saat ini.
8. Menghasilkan estimasi waktu penyemprotan yang dapat dilakukan berdasarkan data operasional yang tersedia.
9. Memberikan notifikasi dan rekomendasi kepada pengguna apabila kondisi tangki mendekati batas minimum atau membutuhkan pengisian ulang.
10. Menyimpan data hasil pemantauan dan prediksi untuk keperluan evaluasi dan analisis penggunaan pestisida.
11. Menyajikan *dashboard* pemantauan berbasis *web* yang dapat diakses pengguna untuk melihat kondisi penyemprotan secara *real-time*.

Dengan fungsi-fungsi tersebut, **AgriSpray** diharapkan dapat membantu pengguna dalam mengambil keputusan yang lebih cepat dan tepat selama proses penyemprotan berlangsung sehingga penggunaan pestisida menjadi lebih efisien dan produktivitas kegiatan pertanian dapat meningkat.

1.2.3 Kelas dan Karakteristik Pengguna

Dashboard AgriSpray digunakan oleh tiga jenis pengguna, yaitu Administrator Sistem, Operator ATV, dan Supervisor/Pengelola Pertanian. Masing-masing pengguna memiliki karakteristik dan hak akses yang berbeda sesuai dengan perannya dalam penggunaan sistem.

Administrator Sistem bertanggung jawab dalam pengelolaan *dashboard*, pemeliharaan sistem, serta pengelolaan data yang tersimpan pada *database*. Operator ATV merupakan pengguna utama yang menggunakan kendaraan ATV untuk melakukan penyemprotan pestisida di lapangan. Supervisor atau Pengelola Pertanian berperan dalam melakukan pemantauan aktivitas penyemprotan dan mengevaluasi hasil yang diperoleh dari sistem. Karakteristik dan hak akses pengguna disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Karakteristik dan Hak Akses Pengguna

Pengguna	Karakteristik	Hak Akses
Administrator Sistem	Memiliki kemampuan teknis dalam pengelolaan sistem dan bertanggung jawab terhadap operasional <i>dashboard</i> .	Mengelola data pengguna, melakukan konfigurasi sistem, mengelola <i>database</i> , serta melakukan pemeliharaan <i>dashboard</i> .
Operator ATV	Petugas yang melakukan penyemprotan pestisida menggunakan kendaraan ATV di lapangan.	Melihat data sensor secara <i>real-time</i> , melihat hasil prediksi <i>machine learning</i> , menerima notifikasi sistem, dan memantau kondisi tangki penyemprotan.
Supervisor/Pengelola Pertanian	Bertanggung jawab dalam pengawasan dan evaluasi kegiatan penyemprotan.	Melihat <i>dashboard</i> pemantauan, melihat riwayat penyemprotan, memantau hasil prediksi, dan melakukan evaluasi penggunaan pestisida.

Pada Tabel 1. Dari ketiga jenis pengguna tersebut, Operator ATV merupakan pengguna yang paling penting karena berinteraksi langsung dengan sistem selama proses penyemprotan berlangsung. Informasi yang diberikan oleh *dashboard AgriSpray* seperti status tangki, estimasi luas penyemprotan, estimasi waktu penyemprotan, dan notifikasi kondisi tangki digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan saat kegiatan

penyemprotan dilakukan. Sementara itu, Administrator Sistem dan Supervisor berperan sebagai pengguna pendukung yang memastikan sistem berjalan dengan baik dan dapat dimanfaatkan secara optimal.

1.2.4 Lingkungan Operasi

Dashboard AgriSpray digunakan oleh operator ATV, administrator sistem, dan pengelola pertanian untuk melakukan pemantauan kegiatan penyemprotan pestisida. Sistem dirancang untuk mendukung pemantauan kondisi tangki pestisida secara *real-time* melalui penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT).

Dashboard AgriSpray berbasis *web* sehingga dapat diakses melalui komputer, laptop, maupun *smartphone* yang terhubung ke jaringan internet. Pengguna dapat mengakses sistem melalui *web browser* yang mendukung teknologi *web modern*, seperti *Google Chrome*, *Mozilla Firefox*, dan *Microsoft Edge*.

Lingkungan operasi *dashboard AgriSpray* meliputi perangkat pengguna, sistem operasi, *web browser*, serta koneksi jaringan. Sistem dapat digunakan pada perangkat dengan sistem operasi *Windows*, *Linux*, maupun *Android* yang mendukung *web browser* modern. Koneksi jaringan diperlukan agar pengguna dapat mengakses *dashboard AgriSpray* dan menerima data pemantauan dari perangkat IoT.

Perangkat IoT yang digunakan pada kendaraan ATV terdiri dari mikrokontroler ESP32 dan sensor ultrasonik yang berfungsi untuk membaca kondisi volume cairan pada tangki. Data hasil pembacaan sensor dikirimkan melalui jaringan ke sistem pemantauan untuk ditampilkan pada *dashboard AgriSpray*.

1.2.5 Batasan Perancangan dan Implementasi

Dashboard AgriSpray dikembangkan sebagai sistem pemantauan tangki pestisida berbasis *Internet of Things* (IoT) dan simulasi prediksi menggunakan *machine learning* sederhana. Dalam proses perancangan dan implementasi sistem, terdapat beberapa batasan yang menjadi acuan pengembangan *dashboard* agar sistem dapat berjalan sesuai kebutuhan yang telah ditentukan. Batasan tersebut antara lain sebagai berikut:

1. *Dashboard AgriSpray* dikembangkan berbasis *web* dan dijalankan menggunakan *browser* seperti *Google Chrome* atau *Mozilla Firefox*.
2. Sistem pemantauan menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk membaca volume cairan pestisida pada tangki.

3. *Dashboard* dibuat menggunakan *framework* Laravel dengan bahasa pemrograman PHP untuk pengembangan *backend* dan MySQL sebagai *database* penyimpanan data.
4. Sistem hanya difokuskan untuk pemantauan volume pestisida, simulasi kontrol penyemprotan, dan simulasi prediksi berdasarkan *dataset* yang telah dibuat.
5. Modul *machine learning* pada **AgriSpray** tidak terintegrasi secara otomatis dengan sistem IoT maupun *dashboard* secara *real-time*, melainkan digunakan sebagai simulasi prediksi berdasarkan data pemantauan yang telah dipelajari sebelumnya.
6. Algoritma *machine learning* yang digunakan adalah *Decision Tree Classifier* dan *Decision Tree Regressor* dengan implementasi menggunakan bahasa pemrograman Python dan *library* Scikit-learn.
7. Sistem memerlukan koneksi jaringan *wi-fi* atau internet yang stabil agar proses pengiriman data pemantauan dari perangkat IoT ke *dashboard* dapat berjalan dengan baik.
8. **AgriSpray** dirancang sebagai *prototype* sistem pemantauan pertanian dan belum digunakan pada skala industri secara penuh.
9. Sistem keamanan *dashboard* masih menggunakan autentikasi dasar berupa login *username* dan *password* serta belum menerapkan enkripsi tingkat lanjut.
10. Pengembangan AgriSpray menggunakan model pengembangan sistem *Prototype* yang memungkinkan proses perancangan, pembuatan *prototype*, evaluasi, perbaikan, implementasi, dan pengujian dilakukan secara bertahap sesuai dengan kebutuhan sistem.

1.2.6 Dokumentasi Pengguna

Daftar dokumentasi pengguna yang disertakan bersama dengan sistem **AgriSpray** adalah sebagai berikut:

1. Panduan penggunaan AgriSpray dalam format PDF yang berisi tata cara *login*, pemantauan tangki pestisida, melihat data sensor, membaca hasil prediksi *machine learning*, serta pengoperasian kontrol pompa penyemprotan.
2. Dokumentasi instalasi dan konfigurasi perangkat IoT yang meliputi sensor ultrasonik, ESP32, *relay*, dan koneksi ke *dashboard*.
3. Tutorial penggunaan sistem dalam bentuk video demonstrasi untuk membantu

pengguna memahami cara penggunaan *dashboard* dan proses pemantauan secara *real-time*.

4. Dokumentasi API dan struktur basis data yang digunakan sebagai acuan pengembangan dan *maintenance* sistem oleh *developer*.
5. Dokumentasi *troubleshooting* sistem yang berisi solusi terhadap permasalahan umum seperti kegagalan pembacaan sensor, koneksi perangkat, dan *error* pada *dashboard AgriSpray*.

Dokumentasi pengguna disediakan dalam format digital seperti PDF dan video tutorial yang dapat diakses melalui Google Drive atau media penyimpanan lainnya sehingga memudahkan pengguna dan pengembang dalam menggunakan maupun melakukan pemeliharaan sistem **AgriSpray**.

1.2.7 Asumsi dan Dependensi

Faktor asumsi dan dependensi pada **AgriSpray** adalah sebagai berikut:

1. **AgriSpray** diasumsikan digunakan pada area pertanian yang memiliki koneksi internet stabil agar proses pemantauan data sensor dan pengiriman data ke *server* dapat berjalan secara *real-time*.
2. Sistem pemantauan bergantung pada sensor ultrasonik dan mikrokontroler ESP32 yang digunakan untuk membaca ketinggian cairan pestisida pada tangki.
3. Model *machine learning* diasumsikan dapat bekerja dengan baik apabila data sensor yang diterima valid dan sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan.
4. *Dashboard AgriSpray* dikembangkan menggunakan *framework* Laravel dan bergantung pada *database* MySQL sebagai media penyimpanan data pemantauan dan hasil prediksi.
5. Sistem membutuhkan perangkat keras seperti sensor ultrasonik, *relay*, pompa, dan ESP32 agar seluruh fungsi pemantauan dan kontrol penyemprotan dapat berjalan dengan optimal.
6. Pengembangan sistem bergantung pada *library* dan teknologi pihak ketiga seperti *framework* Laravel, bahasa pemrograman PHP, Python untuk *machine learning*, serta protokol komunikasi IoT.
7. *Dashboard AgriSpray* diasumsikan berjalan pada perangkat pengguna yang memiliki browser *modern* seperti Google Chrome atau Microsoft Edge.
8. Jika terjadi gangguan jaringan internet, kerusakan sensor, atau kegagalan

perangkat keras IoT, maka proses pemantauan data dan prediksi sistem dapat terganggu.

9. Sistem **AgriSpray** dikembangkan sebagai *prototype* dengan operator menggunakan ATV, namun demikian masih dapat dikembangkan lebih lanjut untuk implementasi pada skala pertanian yang lebih luas.

1.3 Kebutuhan Fungsional

Pada bagian ini dijelaskan kebutuhan fungsional yang diperoleh berdasarkan hasil identifikasi kebutuhan sistem pemantauan tangki pestisida berbasis IoT dan *machine learning* pada *dashboard AgriSpray*. Kebutuhan sistem diperoleh melalui analisis terhadap proses pemantauan penyemprotan pestisida, pengendalian pompa, serta kebutuhan prediksi estimasi penggunaan cairan pestisida pada *prototype* ATV.

A. Data dan Informasi yang Dibutuhkan

Dalam proses perancangan dan implementasi **AgriSpray**, terdapat beberapa data dan informasi yang dibutuhkan, antara lain:

1. Data persentase volume cairan pestisida pada tangki.
2. Data ketinggian cairan yang diperoleh dari sensor ultrasonik.
3. Data status pompa penyemprotan (*ON/OFF*).
4. Data *flow rate* atau laju aliran cairan pestisida.
5. Data estimasi luas cakupan penyemprotan.
6. Data *area remaining* atau sisa area lahan yang akan disemprot.
7. Data hasil prediksi *machine learning* terkait estimasi penggunaan cairan dan status tangki.
8. Data histori pemantauan sensor untuk ditampilkan pada *dashboard* pemantauan.
9. Informasi spesifikasi perangkat keras seperti ESP32, *relay*, sensor ultrasonik, dan pompa.

B. *Stakeholders* yang Terlibat

Beberapa pihak yang terlibat dan berkepentingan dalam pengembangan **AgriSpray** adalah sebagai berikut:

1. Pengguna/Petani

Berperan sebagai pengguna utama sistem untuk melakukan dan

mengontrol proses penyemprotan serta pemantauan kondisi tangki pestisida.

2. *Developer* Sistem

Bertanggung jawab dalam proses analisis, perancangan, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan sistem **AgriSpray**.

3. Tim Pengembang IoT

Bertanggung jawab dalam integrasi perangkat sensor, mikrokontroler ESP32, *relay*, dan komunikasi data sensor.

4. Tim *Machine Learning*

Bertanggung jawab dalam pengolahan *dataset*, pelatihan model *Machine Learning*, serta implementasi model prediksi pada sistem.

5. Dosen Pembimbing

Berperan memberikan arahan, evaluasi, dan validasi terhadap proses pengembangan sistem.

C. Dokumen Sumber Data dan Informasi

Dokumen dan sumber informasi yang digunakan dalam proses perancangan **AgriSpray** antara lain:

1. Jurnal penelitian terkait *Internet of Things* (IoT) pada bidang pertanian.
2. Jurnal penelitian terkait *machine learning* untuk pemantauan dan prediksi.
3. Dokumentasi sensor ultrasonik HC-SR04 dan ESP32.
4. Dokumentasi *framework* Laravel dan *database* MySQL.
5. *Dataset* pemantauan tangki pestisida yang digunakan untuk proses training model *machine learning*.
6. Hasil observasi proses penyemprotan pestisida pada *prototype* ATV.
7. Referensi pengembangan sistem pemantauan berbasis *web* dan IoT.

D. Narasumber yang Dihubungi

Dalam proses pengembangan **AgriSpray**, beberapa narasumber (klien dan dosen pembimbing) dihubungi untuk memperoleh data dan informasi yang dibutuhkan dalam perancangan sistem. Dosen pembimbing dipilih sebagai narasumber karena memiliki pengetahuan dan pengalaman dalam bidang pengembangan sistem, IoT,

serta *machine learning* sehingga dapat memberikan arahan terkait proses penelitian dan implementasi sistem.

Selain itu, tim pengembang juga menjadi sumber informasi dalam proses implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, khususnya terkait integrasi sensor ultrasonik, ESP32, *web dashboard*, dan model *machine learning*. Klien juga dilibatkan untuk mengetahui kebutuhan sistem pemantauan yang sesuai dengan kondisi penggunaan di lapangan.

Dokumentasi resmi perangkat seperti ESP32, sensor ultrasonik, *framework* Laravel, dan *database* MySQL digunakan sebagai referensi teknis dalam proses pengembangan sistem. Selain itu, jurnal dan penelitian terkait IoT dan *machine learning* pada bidang pertanian digunakan sebagai sumber referensi ilmiah untuk mendukung pengembangan *dashboard AgriSpray*.

1.3.1 Antarmuka Pengguna

Pengguna berinteraksi dengan *dashboard* AgriSpray (*Smart IoT Monitoring*) melalui antarmuka berbasis *web* bermodus grafik atau *graphical user interface* (GUI). Antarmuka ini dapat menampilkan visualisasi data pemantauan IoT, grafik status, dan formulir kontrol secara langsung kepada pengguna melalui monitor komputer desktop, tablet, maupun layar ponsel pintar (*responsive layout*). *Dashboard* AgriSpray menerima masukan (*input*) dari pengguna melalui:

- *Mouse* atau layar sentuh (*touchscreen*): Digunakan untuk berinteraksi dengan elemen-elemen interaktif pada *dashboard*, seperti mengaktifkan/menonaktifkan sakelar daya penyemprotan (*power toggle*), membuka menu *dropdown* notifikasi (tombol lonceng), memilih opsi satuan luas lahan pada menu *dropdown* (hektar atau meter persegi), serta menavigasi tabel riwayat data.
- *Keyboard*: Digunakan oleh pengguna untuk memasukkan data numerik parameter penyemprotan pada formulir input data, seperti nilai volume tangki (liter) dan luas lahan.

Karakteristik estetika dan desain antarmuka:

1. Panduan Gaya (*Style Guide*) & Desain: Menggunakan tema *modern* berbasis *glassmorphism* dengan perpaduan warna hijau alam (*emerald green*) sebagai representasi agrikultur cerdas, abu-abu gelap (*slate*) untuk teks/elemen netral,

serta aksen oranye/merah untuk status kritis. Tipografi sistem menggunakan *font outfit* (*Google Fonts*) untuk memberikan kesan *modern* dan bersih.

2. Visualisasi Data Dinamis: Menampilkan grafik cakupan area yang sudah disemprot dan belum disemprot menggunakan diagram lingkaran (*doughnut chart*) interaktif (didukung oleh Chart.js).
3. Kontrol *real-time*: Kartu kontrol penyemprotan dilengkapi dengan indikator status dinamis (*active/standby*), penunjuk waktu aktif (*timer*), serta informasi data simulasi berupa nilai tekanan (*pressure* dalam satuan BAR) dan laju alir (*flow rate* dalam satuan L/MIN).
4. Standar Tampilan Pesan & Notifikasi:
 - Pesan Keberhasilan (*Success Message*): Ditampilkan melalui spanduk (*alert banner*) berwarna hijau di bagian atas halaman ketika perhitungan data penyemprotan berhasil disimpan.
 - Pesan Kesalahan (*Error Message*): Ditampilkan melalui spanduk berwarna merah jika pengguna memasukkan data yang tidak valid (misalnya nilai kosong atau angka negatif).
 - Notifikasi Peringatan (*Warning/Alert*): Menampilkan spanduk oranye berkedip (*pulse animation*) dan notifikasi pada ikon lonceng apabila tingkat volume tangki berada di bawah batas kritis ($< 20\%$).

Ringkasan penjelasan komponen UI utama:

1. *Header*: Logo AgriSpray, judul halaman "*Panel Monitoring*", dan ikon lonceng notifikasi level tangki.
2. *Sprayer Control Card*: Saklar daya (*power toggle*), indikator status, *timer* aktif.
3. *Stats Grid*: Kartu informasi ringkas (terakhir dihitung, volume rata-rata, dan total luas lahan).
4. Form Input Data & Grafik: Formulir kalkulator kebutuhan campuran gulma dan visualisasi grafik.
5. *History Table*: Tabel riwayat data penyemprotan yang telah disimpan beserta bilah progres representasi persentase cakupan.

1.3.2 Antarmuka Perangkat Keras

Sistem penyemprot gulma berbasis IoT ini menggunakan beberapa perangkat keras utama, yaitu ESP32, sensor ultrasonik *waterproof*, relay 5V Songle SRD-05VDC-SL-C,

pompa mini DC 12–15V 120 PSI, *step down converter*, aki motor 12V, sekering, dan saklar manual.

ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali sistem yang menerima perintah dari *dashboard AgriSpray* melalui jaringan *wi-fi*. Perintah dari *dashboard* berupa kontrol *ON/OFF* pompa. Ketika pengguna menekan tombol *ON* pada *dashboard*, ESP32 akan mengirimkan sinyal digital ke *relay* untuk menghubungkan arus dari aki menuju pompa. Ketika tombol *OFF* ditekan, *relay* akan memutus arus sehingga pompa berhenti bekerja.

Sensor ultrasonik *waterproof* digunakan untuk membaca jarak antara sensor dan permukaan cairan di dalam tangki. Data jarak tersebut diproses oleh ESP32 untuk mengetahui perkiraan tinggi atau sisa cairan pada tangki. Data hasil pembacaan dapat dikirimkan ke *dashboard AgriSpray* agar pengguna dapat memantau kondisi cairan melalui *smartphone*.

Sumber daya utama sistem berasal dari aki motor 12V. Arus dari aki digunakan untuk menyalakan pompa mini DC. Untuk menyalakan ESP32, tegangan dari aki diturunkan menggunakan *step down converter* dari 12V menjadi 5V. Jalur positif aki dilengkapi dengan sekering sebagai pengaman apabila terjadi hubungan arus pendek atau beban berlebih.

Selain kontrol melalui *dashboard*, sistem juga dilengkapi saklar manual. Saklar manual memungkinkan pompa tetap dapat digunakan tanpa harus terhubung ke *dashboard* atau jaringan internet. Dengan demikian, apabila koneksi *wi-fi*, *dashboard*, atau ESP32 mengalami gangguan, pengguna tetap dapat mengaktifkan pompa secara manual.

Komunikasi antara *dashboard AgriSpray* dan ESP32 dilakukan melalui jaringan *wi-fi*. Komunikasi antara ESP32 dan *relay* menggunakan sinyal digital melalui pin *general-purpose input/output* (GPIO). Komunikasi antara ESP32 dan sensor ultrasonik menggunakan pin *Trigger* dan *Echo*. Sementara itu, hubungan antara aki, *relay*, saklar, dan pompa menggunakan jalur listrik DC 12V.

Kebutuhan minimum perangkat keras yang digunakan untuk menjalankan *server dashboard* (lokal) dan perangkat yang digunakan pengguna untuk mengakses antarmuka **AgriSpray** adalah:

Sisi *server* (*web & database server* - lokal menggunakan XAMPP)

1. CPU : Intel Core/AMD 2.0 GHz (*dual-core*)

2. RAM : 2048 MB (2 GB)
3. Penyimpanan : 256/512 GB

1.3.3 Antarmuka Perangkat Lunak

Dashboard AgriSpray dirancang agar dapat dijalankan pada lingkungan sistem operasi Microsoft® Windows 10 atau Windows 11 (baik saat pengembangan menggunakan *server* lokal seperti XAMPP), maupun pada sistem operasi *server* berbasis Linux (seperti Ubuntu *server*) ketika nantinya diunggah ke Internet (*hosting*).

Untuk mengolah data dan logika di balik layar, *dashboard* ini memerlukan perangkat lunak penerjemah bahasa pemrograman PHP versi 8.2 atau yang lebih baru. Hubungan utama antara sistem dengan *database* diatur oleh kerangka kerja perangkat lunak (*framework*) bernama Laravel versi 12.0, yang bertindak sebagai jembatan utama untuk memproses data dari pengguna dan menyimpannya ke dalam *database*.

Untuk menyimpan seluruh riwayat pemantauan, sistem ini terhubung dengan sistem *database* MySQL. Tampilan *dashboard web* yang diakses pengguna memanfaatkan beberapa pustaka (*library*) pendukung eksternal, yaitu:

- Tailwind CSS untuk merancang tata letak dan keindahan visual halaman *web* agar tampil rapi di berbagai ukuran layar.
- Chart.js untuk me-*render* grafik lingkaran (*doughnut chart*) secara otomatis di *browser* sehingga pengguna bisa melihat persentase cakupan area.
- Lucide Icons untuk menyediakan simbol dan ikon visual interaktif di setiap tombol menu *dashboard*.

1.3.4 Antarmuka Komunikasi

AgriSpray menggunakan koneksi jaringan lokal atau internet untuk menghubungkan pengguna, sistem *server*, dan alat penyemprot di lapangan. Pengguna dapat membuka halaman *dashboard* pemantauan menggunakan *web* browser umum (seperti Google Chrome atau Mozilla Firefox). Melalui *dashboard* tersebut, data yang dimasukkan pengguna pada formulir (seperti data volume tangki dan luas lahan) akan dikirimkan langsung ke *server* untuk diproses.

Alat penyemprot di lapangan secara otomatis mengirimkan informasi pemantauan berupa sisa volume tangki, tekanan udara, serta laju aliran air secara berkala ke *dashboard* agar pengguna dapat melihat kondisi terbaru. Sebaliknya, perintah kendali seperti menyalakan

atau mematikan penyemprotan yang dilakukan pengguna melalui tombol saklar di halaman *dashboard* akan langsung dikirimkan secara nirkabel ke alat di lapangan agar pompa penyemprot merespon seketika.

Untuk menjamin keamanan sistem, seluruh proses pengiriman data dan instruksi kendali dilindungi dengan sistem keamanan standar guna mencegah adanya pihak tidak bertanggung jawab yang mencoba memanipulasi atau mengendalikan alat penyemprot secara ilegal. Agar *dashboard* dapat menampilkan data dan grafik dengan lancar, sistem ini memerlukan koneksi jaringan internet atau lokal yang stabil di area perkebunan.

1.4 Fitur Sistem

1.4.1 Fitur Input Data & Kalkulator AgriSpray

1.4.1.1 Deskripsi

Fitur ini memungkinkan pengguna untuk menginput volume cairan campuran pembasmi gulma dalam tangki (liter) dan luas lahan yang akan disemprot (hektar atau m²). Sistem secara otomatis menghitung kecukupan cairan tersebut terhadap luas lahan (dengan asumsi standar: 1 hektar membutuhkan 100 liter cairan campuran pembasmi gulma) dan menyimpannya ke *database*.

1.4.1.2 Trigger

Pengguna mengklik tombol "Hitung Sekarang" setelah mengisi form volume cairan dan luas lahan pada panel "Input Data".

1.4.1.3 Input

- Volume (angka desimal, mewakili volume tangki dalam satuan liter)
- Lahan (angka desimal, mewakili luas lahan pertanian)
- Satuan (pilihan teks antara hektar "ha" atau meter persegi "m²")

1.4.1.4 Output

- Data persentase cakupan lahan (%) yang disimpan ke *database*.
- Pesan notifikasi sukses ("Perhitungan berhasil disimpan") atau pesan *error* jika input tidak valid.
- Pembaruan visual pada grafik dan tabel riwayat *dashboard*.

1.4.1.5 Skenario Utama

Prakondisi: Pengguna berada di halaman *dashboard AgriSpray* dan koneksi *database* aktif.

Pascakondisi: Data perhitungan volume, lahan (dalam hektar), dan persentase tersimpan di *database* serta ditampilkan secara visual.

Langkah-langkah:

1. Pengguna memasukkan nilai volume cairan pada kolom input volume tangki.
2. Pengguna memasukkan nilai luas lahan pada kolom input luas lahan.
3. Pengguna memilih opsi satuan luas lahan (hektar atau meter²).
4. Pengguna mengklik tombol "Hitung Sekarang".
5. Sistem melakukan validasi untuk memastikan data bernilai positif.
6. Sistem mengonversi nilai luas lahan menjadi satuan hektar (dibagi 10.000) jika pengguna memilih satuan meter².
7. Sistem menghitung persentase cakupan lahan berdasarkan perbandingan volume air dengan kebutuhan standar lahan.
8. Sistem menyimpan data perhitungan baru tersebut ke dalam *database*.
9. Sistem memuat ulang halaman *dashboard* dengan menyertakan pesan sukses serta memperbarui grafik visual dan tabel riwayat.

1.4.1.6 Skenario Eksepsional Input Tidak Valid

Prakondisi: Pengguna berada di halaman *dashboard* utama dan salah satu form input bernilai kosong atau tidak valid.

Pascakondisi: Data input ditolak, penyimpanan *database* dibatalkan, dan sistem memunculkan pesan *error* berwarna merah.

Langkah-langkah:

1. Pengguna memasukkan nilai nol, nilai negatif, atau membiarkan kolom input volume cairan/luas lahan kosong.
2. Pengguna mengklik tombol "Hitung Sekarang".
3. Sistem membatalkan proses kalkulasi dan penyimpanan ke *database*.

1.4.2 Fitur Kontrol Penyemprotan (*ON/OFF*)

1.4.2.1 Deskripsi

Fitur simulasi saklar kendali penyemprotan. Saat saklar diaktifkan, halaman *web* akan menampilkan status sistem aktif, menghitung waktu operasional secara langsung (*timer*), dan mensimulasikan nilai parameter sensor (tekanan dan laju alir) secara *real-time* di antarmuka pengguna.

1.4.2.2 Trigger

Pengguna mengklik tombol saklar "*Power Toggle*" di kartu Kontrol Penyemprotan.

1.4.2.3 Input

Perubahan status saklar *toggle* (*Checked/Unchecked*) berdasarkan klik pengguna.

1.4.2.4 Output

Perubahan teks status sistem ("Sistem Aktif"/"Sistem dalam mode Siaga").

- *Timer* operasional *real-time* ("Aktif: MM:SS").
- Nilai simulasi sensor tekanan cairan ("BAR") dan laju alir air ("L/MIN") yang diperbarui otomatis setiap 2 detik.
- Animasi *progress bar* hijau di bagian bawah kartu kontrol.

1.4.2.5 Skenario Utama

Prakondisi: Halaman *dashboard* terbuka dan tombol saklar penyemprot dalam keadaan mati (*OFF/Standby*)

Pascakondisi: Sistem beralih ke mode aktif (*ON*), *timer* berjalan secara dinamis, dan layar menampilkan visualisasi sensor *real-time* yang terus berubah.

Langkah-langkah:

1. Pengguna mengklik saklar *toggle* "*Power Toggle*" ke posisi aktif.
2. Sistem mengubah status visual ikon dan teks menjadi hijau ("Sistem Aktif").
3. Sistem memicu *timer* operasional untuk mulai menghitung waktu berjalan dari detik ke-0.
4. Sistem mengaktifkan interval waktu 2 detik untuk mengacak dan memperbarui angka parameter tekanan ("BAR") dan laju alir ("L/MIN").
5. Pengguna mengklik kembali saklar *toggle* ke posisi nonaktif (*Off*).
6. Sistem menghentikan *timer* operasional dan mereset metrik sensor menjadi '0.0'.

7. Sistem mengembalikan status visual antarmuka ke mode Siaga (*Standby*).

1.4.3 Fitur Visualisasi Grafik Penyiraman

1.4.3.1 Deskripsi

Fitur visualisasi persentase cakupan penyemprotan cairan menggunakan grafik lingkaran. Grafik ini membantu pengguna menganalisis perbandingan area lahan yang telah disiram cairan (hijau) dengan area yang belum disiram (abu-abu) secara cepat.

1.4.3.2 Trigger

Fitur ini dieksekusi secara otomatis oleh sistem saat halaman *web* selesai dimuat.

1.4.3.3 Input

Data persentase cakupan terbaru dari rekaman sensor di *database*.

1.4.3.4 Output

Grafik lingkaran interaktif di bagian tengah halaman *Dashboard* dengan label persentase cakupan tertulis di tengah lingkaran.

1.4.3.5 Skenario Utama

Prakondisi: Pengguna mengakses halaman *dashboard AgriSpray* dan terdapat data di *database*.

Pascakondisi: Grafik lingkaran yang merepresentasikan cakupan volume cairan *render* dengan benar.

Langkah-langkah:

1. Sistem memuat halaman *dashboard*.
2. Sistem mengambil nilai persentase dari *record* data sensor paling baru di *database*.
3. Sistem menginisialisasi komponen Chart.js dengan memasukkan data persentase cakupan.
4. Sistem *me-render* objek grafik berbentuk lingkaran pada elemen "<canvas>".
5. Sistem menuliskan teks angka persentase (misal: "85%") tepat di titik tengah grafik lingkaran tersebut.

1.4.4 Fitur Sistem Peringatan Level Tanki Rendah (Alert & Notification)

1.4.4.1 Deskripsi

Fitur peringatan otomatis yang mendeteksi jika volume cairan yang tersedia di tangki berada di tingkat kritis (di bawah 20%). Peringatan ini muncul dalam bentuk *banner* peringatan darurat serta notifikasi khusus pada ikon lonceng untuk mencegah kegagalan proses penyemprotan akibat kehabisan cairan.

1.4.4.2 Trigger

Sistem mengeksekusi fitur ini secara otomatis sesaat setelah memuat data sensor dari *database* apabila terdeteksi persentase cairan kurang dari 20%.

1.4.4.3 Input

Nilai persentase cakupan cairan terbaru dari *database*.

1.4.4.4 Output

Banner peringatan berwarna oranye/merah menyala di atas halaman *dashboard*.

- Dot merah berdenyut (*pulse*) pada ikon lonceng di header halaman.
- Teks peringatan detail di dalam menu *dropdown* notifikasi lonceng.

1.4.4.5 Skenario Utama

Prakondisi: *Dashboard* dimuat dan *record* persentase cairan terbaru berada di bawah nilai 20%.

Pascakondisi: *Banner* peringatan darurat aktif dan ikon lonceng menampilkan notifikasi peringatan.

Langkah-langkah:

1. Sistem memuat halaman *dashboard* dan mengecek *record* data sensor terbaru.
2. Sistem mendeteksi bahwa persentase cakupan bernilai kurang dari 20% (misal: 15%).
3. Sistem me-render *banner* peringatan oranye menyala "Peringatan: Level Tangki Rendah!" di bagian atas *dashboard*.
4. Sistem mengaktifkan dot merah berdenyut pada tombol lonceng notifikasi di *header*.
5. Pengguna mengklik tombol lonceng tersebut.
6. Sistem menampilkan *dropdown* berisi teks "Level Tangki Rendah! Volume tangki saat ini di bawah 20%".

1.4.4.6 Skenario Eksepsional *Database Kosong*

Prakondisi: *Database* kosong (belum ada riwayat perhitungan sama sekali).

Pascakondisi: *Banner* peringatan level tangki rendah disembunyikan dan *dropdown* notifikasi menampilkan pesan *default* kosong.

Langkah-langkah:

1. Pengguna memuat halaman *dashboard* utama.
2. Sistem memeriksa ketersediaan data sensor di *database*.
3. Sistem mendeteksi bahwa *database* dalam keadaan kosong (jumlah data = 0).
4. Sistem menyembunyikan *banner* peringatan darurat oranye dari layar *dashboard*.
5. Pengguna mengklik ikon lonceng notifikasi.

1.4.5 Fitur Riwayat Data Penggunaan Cairan

1.4.5.1 Deskripsi

Fitur tabel historis yang mengompilasi dan menyajikan seluruh data input volume cairan dan luas lahan yang pernah dimasukkan sebelumnya. Fitur ini berguna bagi pengguna untuk meninjau kembali efektivitas pemakaian cairan campuran gulma dalam jangka waktu tertentu.

1.4.5.2 *Trigger*

Sistem mengeksekusi fitur ini secara otomatis saat halaman *dashboard* diakses oleh pengguna.

1.4.5.3 *Input*

Kumpulan baris data historis (koleksi objek model sensor) dari *database*.

1.4.5.4 *Output*

Tabel riwayat dengan kolom Volume (L), Luas Lahan (Ha), Persentase (%), beserta visualisasi progress bar mini di setiap baris data.

1.4.5.5 Skenario Utama

Prakondisi: Halaman *dashboard* dimuat dan koneksi *database* tersedia.

Pascakondisi: Pengguna dapat melihat daftar data historis perhitungan sensor secara runut dari yang terbaru.

Langkah-langkah:

1. Sistem memuat halaman utama *dashboard*.
2. Sistem menarik seluruh baris data dari tabel "sensors" di *database*, diurutkan dari data terbaru.
3. Sistem *me-render* struktur tabel HTML pada bagian bawah halaman.
4. Sistem melakukan perulangan data untuk menampilkan baris per baris nilai volume, lahan, persentase cakupan, beserta progress bar kecil untuk visualisasi persentase cakupan.
5. Pengguna meninjau daftar riwayat data untuk kebutuhan evaluasi penggunaan cairan.

1.5 Kebutuhan Nonfungsional

1.5.1 Atribut Kualitas

Sistem penyemprot gulma berbasis IoT memiliki atribut kualitas sebagai berikut:

1. **Keamanan (*Safety/Security*)**

Sistem menggunakan aki motor 12V sebagai sumber daya utama. Jalur positif aki dilengkapi dengan sekering untuk mengurangi risiko kerusakan akibat arus berlebih atau korsleting. Tegangan aki diturunkan menggunakan *step down converter* sebelum masuk ke ESP32 agar perangkat dapat bekerja dengan aman.

2. **Kinerja (*Performance*)**

Sistem harus mampu merespon perintah *ON/OFF* dari *dashboard AgriSpray* dalam waktu maksimal 3 detik selama koneksi internet stabil. Pada mode manual, pompa harus langsung menyala ketika saklar manual diaktifkan.

1.5.2 Kebutuhan Legal

Sistem penyemprot gulma berbasis IoT memiliki aspek legal sebagai berikut:

1. **Penggunaan Perangkat Lunak**

Sistem penyemprot gulma berbasis IoT menggunakan program pada ESP32 dan *dashboard AgriSpray* sebagai media kontrol pompa. Perangkat lunak digunakan untuk mengaktifkan dan mematikan pompa serta menampilkan informasi kondisi alat. Penggunaan *dashboard AgriSpray* dilakukan sesuai dengan ketentuan layanan yang berlaku pada platform tersebut.

2. **Penggunaan Komponen Elektronik**

Komponen elektronik yang digunakan meliputi ESP32, *relay*, *step down*

converter, sensor ultrasonik *waterproof*, pompa mini DC, saklar, sekering, dan aki motor 12V. Seluruh komponen digunakan sesuai dengan fungsi dan spesifikasi teknis masing-masing agar sistem dapat bekerja dengan aman.

3. **Keselamatan Penggunaan Alat**

Alat penyemprot gulma harus digunakan dengan memperhatikan keselamatan pengguna dan lingkungan sekitar. Pengguna disarankan menggunakan alat pelindung diri seperti masker, sarung tangan, dan pelindung mata saat melakukan penyemprotan cairan gulma.

4. **Penggunaan Cairan Gulma**

Cairan gulma yang digunakan harus sesuai dengan aturan pemakaian pada label produk. Pengguna harus memperhatikan dosis, cara pencampuran, dan area penyemprotan agar tidak membahayakan manusia, hewan, tanaman lain, maupun lingkungan.

5. **Keselamatan Kendaraan**

Pemasangan alat pada motor atau ATV harus memperhatikan keamanan dan keseimbangan kendaraan. Tangki, pompa, rangka, dan *nozzle* harus dipasang dengan kuat agar tidak mudah lepas saat kendaraan digunakan di lapangan.