

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kurangnya kepedulian sebagian masyarakat terhadap kebersihan lingkungan menyebabkan permasalahan sampah masih menjadi persoalan serius bagi pemerintah[1]. Jika sampah masih dibiarkan berserakan dan pengelolaannya kurang baik, dampak negatifnya akan kembali dirasakan oleh masyarakat dan lingkungan sekitar. Namun, terciptanya lingkungan yang bersih hanya dapat diwujudkan melalui kesadaran serta tindakan nyata dari seluruh lapisan masyarakat. Sayangnya, perhatian masyarakat terhadap pentingnya menjaga kebersihan lingkungan kini kian menurun. Untuk menanggulangi permasalahan ini, salah satu solusi inovatif yang dapat dikembangkan adalah penggunaan robot pemungut sampah. Inovasi ini diharapkan mampu membantu menjaga kebersihan lingkungan secara efektif, sekaligus mengedukasi masyarakat mengenai pentingnya peran aktif dalam pengelolaan sampah demi keberlanjutan ekosistem. Pengumpul sampah yang menggunakan teknologi *Visible Light Communication* (VLC) merupakan inovasi canggih yang memungkinkan robot untuk bekerja secara efisien dalam membantu menjaga kebersihan lingkungan.

Teknologi VLC memungkinkan komunikasi data yang cepat dan andal dengan memanfaatkan cahaya tampak, sehingga robot dapat berkoordinasi dan beroperasi secara optimal di area yang luas[2]. Selain itu, robot pemungut sampah ini dilengkapi dengan sensor penentuan posisi yang akurat, sehingga dapat mengetahui lokasi persisnya, serta sensor penghindar halangan yang mampu mendeteksi keberadaan rintangan di depan robot dan menghindar. Dengan fitur tersebut, robot tidak hanya efektif dalam mengumpulkan sampah tanpa terhambat, tetapi juga dapat beroperasi dengan aman dan mandiri di lingkungan yang dinamis. Robot ini diharapkan mampu meminimalisir penyebaran penyakit yang terkait dengan lingkungan yang tidak terawat, sekaligus membantu meningkatkan kualitas hidup masyarakat dengan lingkungan yang lebih bersih dan nyaman.

Di tengah pesatnya perkembangan teknologi saat ini, pengembangan robot pemungut sampah yang dilengkapi dengan teknologi *Visible Light Communication* (VLC) memungkinkan komunikasi cepat dan andal antar perangkat robot untuk meningkatkan koordinasi kerja. Robot ini juga menggunakan sensor ultrasonik sebagai sistem penghindar halangan yang terintegrasi dengan FPGA DE0-Nano, yang memberikan data jarak rintangan secara real-time melalui tampilan LED dan serial monitor. Sensor posisi yang akurat membantu memantau lokasi robot. Sedangkan MPU6050 digunakan sebagai sensor accelerometer dan gyroscope untuk melihat sumbu koordinat XYZ, yang berguna untuk memantau orientasi dan gerakan robot secara presisi [3].

Penelitian lain menggambarkan pemanfaatan FPGA sebagai unit pengendali utama pada mobile robot beroda empat yang dilengkapi dengan sensor ultrasonik. FPGA sendiri memiliki beberapa keunggulan, seperti kemampuan pemrosesan paralel, fleksibilitas dalam perancangan arsitektur sistem, konsumsi daya yang relatif rendah, serta waktu eksekusi yang cepat dibandingkan dengan mikrokontroler konvensional. Dengan kelebihan ini, FPGA dapat mendukung kinerja robot secara lebih optimal, terutama pada aplikasi yang membutuhkan pemrosesan data real-time.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan prototipe robot pemungut sampah yang mengintegrasikan FPGA DE0-Nano dan ESP32 sebagai pusat kendali sensor dan komunikasi data?
2. Bagaimana prinsip kerja dan integrasi tiga sensor ultrasonik serta sensor MPU6050 dapat diterapkan untuk mendukung sistem penghindar halangan dan pemantauan orientasi robot secara real-time?
3. Bagaimana proses perancangan, pengujian, dan pemantauan data dapat dilakukan agar sistem navigasi dan komunikasi pada robot bekerja secara akurat, efisien, dan mampu mengirimkan data ke Ground Control Station melalui koneksi WiFi?

1.3 Tujuan

1. Mengembangkan prototipe robot pemungut sampah yang mampu mendeteksi dan menghindari halangan secara mandiri menggunakan tiga sensor ultrasonik yang terintegrasi dengan FPGA DE0-Nano dan ESP32.
2. Menerapkan sensor MPU6050 untuk memantau orientasi dan posisi pada robot dalam tiga sumbu (X, Y, Z) guna mendukung stabilitas.
3. Merancang sistem komunikasi data berbasis UART dan WiFi untuk menampilkan informasi sensor secara real-time melalui serial monitor serta mengirimkannya ke Ground Control Station (GCS).

1.4 Batasan Masalah

1. Sistem penggerak mobil pada penelitian ini dibatasi hanya untuk digunakan di lingkungan dalam ruangan yang tertutup.
2. Penelitian ini tidak difokuskan untuk mendeteksi halangan, melainkan hanya terbatas pada proses pendeteksian sampah.
3. Pada penelitian ini, sistem yang mendeteksi sampah belum mampu melakukan penghentian secara otomatis, sehingga pergerakannya masih dikendalikan melalui Ground Control Station.

1.5 Cakupan Pengerjaan

Tugas Akhir ini mencakup perancangan dan implementasi sistem sensor pada robot pemungut sampah berbasis FPGA DE0-Nano dan ESP32. Sistem menggunakan tiga sensor ultrasonik tipe HC-SR04 untuk mendeteksi halangan serta sensor MPU6050 untuk memantau orientasi dan pergerakan robot. Satu sensor ultrasonik diproses oleh FPGA, sedangkan dua lainnya dan sensor orientasi diproses oleh ESP32. Data sensor ditampilkan secara real-time melalui serial monitor untuk memudahkan pemantauan dan pengujian sistem. Penulis bertanggung jawab atas integrasi perangkat keras dan perangkat lunak, termasuk pemrograman logika pada FPGA menggunakan Quartus, pembacaan dan pengolahan data sensor di ESP32, serta pengujian sistem secara menyeluruh untuk memastikan robot dapat bernavigasi secara mandiri, mendeteksi rintangan, dan memantau posisinya dengan akurat. Fokus utama dari cakupan pengerjaan ini meliputi:

1. Perancangan dan pembangunan sistem sensor penghindar halangan berbasis sensor ultrasonik tipe HC-SR04 menggunakan board FPGA DE0-Nano, dengan rangkaian pendukung berupa resistor 1k Ω dan 2k Ω sebagai pembagi tegangan. Pengkabelan dilakukan menggunakan kabel jumper untuk menghubungkan pin trigger dan echo ke pin I/O FPGA secara tepat.
2. Perancangan dan implementasi pengkabelan serta pemetaan pin (pin planner) pada software Quartus, untuk menghubungkan sensor ultrasonik HC-SR04 dengan FPGA DE0-Nano, memastikan seluruh jalur koneksi (*trigger*, *echo*, pembagi tegangan) terpasang dengan benar dan siap untuk diprogram menggunakan Verilog HDL.
3. Pemrograman sistem pembacaan sensor ultrasonik dan sensor orientasi MPU6050 pada FPGA DE0-Nano, yang mencakup pengolahan data secara real-time, pembacaan sinyal echo ultrasonik, dan konversi jarak dalam satuan sentimeter. Data dari MPU6050 berupa koordinat sumbu X, Y, dan Z juga dibaca secara real-time dan diolah untuk ditampilkan ke serial monitor.
4. Implementasi komunikasi data serial (UART) dari FPGA ke ESP32, untuk mentransfer data jarak dan orientasi. Data tersebut ditampilkan secara *real-time* pada serial monitor dan dapat dimanfaatkan untuk keperluan debugging, pemantauan, maupun visualisasi kinerja robot saat uji coba.
5. Perancangan sistem dua sensor ultrasonik tambahan yang dikendalikan oleh ESP32. Sensor dipasang di bagian kanan dan kiri depan robot, dan diprogram menggunakan Arduino IDE dengan board ESP32. Sistem ini bekerja secara paralel dengan FPGA untuk mendeteksi objek dari samping, dan hasil pembacaannya ditampilkan melalui serial monitor.

6. Pengiriman data sensor dari ESP32 ke *Ground Control Station* (GCS) melalui koneksi WiFi. Semua data yang ditampilkan pada serial monitor, baik dari FPGA maupun ESP32, akan dikirim secara nirkabel ke GCS untuk pemantauan jarak halangan dan koordinat sumbu X, Y, dan Z secara real-time.

Dengan cakupan tersebut, penulis bertanggung jawab dalam memastikan bahwa sistem deteksi halangan dan pemantauan posisi robot dapat berfungsi secara optimal, responsif, dan memiliki tingkat akurasi yang tinggi.

1.6 Tahapan Pengerjaan

Tahapan pengerjaan yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini meliputi beberapa langkah utama sebagai berikut:

1. Analisis dan Studi Awal
Tahapan awal dimulai dengan mengkaji literatur dan referensi terkait penggunaan sensor ultrasonik tipe HC-SR04, sensor orientasi MPU6050, serta dasar pemrograman FPGA DE0-Nano dan ESP32. Studi ini mencakup pemahaman tentang prinsip kerja sensor, pembagi tegangan menggunakan resistor 1k Ω dan 2k Ω , komunikasi data menggunakan UART, serta pemrosesan sinyal digital menggunakan Verilog HDL di lingkungan Quartus. Selain itu, dilakukan penelusuran jurnal, *datasheet*, dan dokumentasi teknis sebagai dasar teori untuk mendukung perancangan dan pengembangan sistem.
2. Perancangan Sistem
Tahapan ini mencakup penyusunan arsitektur sistem secara menyeluruh, mulai dari koneksi sensor ultrasonik HC-SR04 ke FPGA DE0-Nano dan ESP32, pemetaan pin menggunakan pin planner di Quartus, hingga desain komunikasi antarperangkat. Perancangan juga melibatkan pengolahan sinyal jarak dari ketiga sensor ultrasonik serta data orientasi dari sensor MPU6050. Seluruh data dirancang untuk ditampilkan melalui serial monitor dan diteruskan ke *Ground Control Station* (GCS) melalui koneksi WiFi.
3. Implementasi dan Pemrograman
Pada tahap ini dilakukan perakitan perangkat keras dan pengkabelan sensor ke FPGA dan ESP32. Sensor ultrasonik bagian tengah dihubungkan ke FPGA dan diprogram menggunakan Verilog HDL, sedangkan dua sensor ultrasonik sisi kanan dan kiri, serta sensor MPU6050, diprogram menggunakan Arduino IDE pada ESP32. Implementasi mencakup pembacaan sinyal, konversi jarak, serta pembacaan data sumbu X, Y, dan Z dari sensor orientasi.
4. Pengujian dan Integrasi Sistem
Setelah sistem terpasang dan diprogram, dilakukan pengujian secara menyeluruh untuk memastikan sensor ultrasonik mampu membaca jarak secara akurat dan data koordinat orientasi dari MPU6050 ditampilkan secara *real-time* di serial monitor. Pengujian dilakukan dalam berbagai skenario untuk mengevaluasi

kinerja integrasi FPGA dan ESP32, serta memastikan sinkronisasi data ke Ground Control Station berjalan dengan baik.

5. Evaluasi dan Penyusunan Laporan

Tahap akhir melibatkan evaluasi performa sistem secara menyeluruh, termasuk akurasi pembacaan sensor, keandalan pengiriman data, dan responsivitas sistem terhadap lingkungan. Evaluasi ini digunakan sebagai dasar untuk menyusun dokumentasi lengkap dalam bentuk laporan Tugas Akhir yang mencakup proses perancangan, implementasi, pengujian, dan kesimpulan teknis atas pengembangan robot pemungut sampah berbasis FPGA dan ESP32.