

RANCANG BANGUN ROBOT PEMADAM API BERODA BERBASIS ARDUINO DENGAN KONTROL BLUETOOTH UNTUK MODE MANUAL DAN OTOMATIS

Ahmad Syarif Hidayatullah, Abdul Halim, Rudianto

Program Studi Ilmu Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Bina Bangsa
ahmadsyarifh222@gmail.com

ABSTRAK

Kebakaran merupakan salah satu bencana yang dapat menyebabkan kerugian material, kerusakan lingkungan, serta membahayakan keselamatan manusia. Penanganan kebakaran pada tahap awal masih bergantung pada tenaga manusia sehingga diperlukan teknologi yang mampu membantu proses deteksi dan pemadaman api secara cepat dan aman. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan robot pemadam api beroda berbasis Arduino Uno yang dapat beroperasi dalam mode otomatis maupun mode manual berbasis Bluetooth. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen yang meliputi analisis kebutuhan, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, implementasi sistem, serta pengujian kinerja. Robot dikembangkan menggunakan Arduino Uno sebagai pengendali utama dengan integrasi flame sensor, sensor ultrasonik HC-SR04, motor driver L293D, motor DC, motor servo, pompa air, dan modul Bluetooth HC-05. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh komponen sistem berfungsi sesuai dengan rancangan. Robot mampu mendeteksi sumber api, menghindari rintangan, bergerak menuju titik api, memadamkan api skala kecil secara otomatis, serta dikendalikan melalui smartphone pada mode manual. Penelitian ini menyimpulkan bahwa robot pemadam api yang dikembangkan mampu menjadi solusi awal dalam penanganan kebakaran skala kecil sekaligus berpotensi dimanfaatkan sebagai media pembelajaran pada bidang robotika dan sistem tertanam karena memiliki sistem yang sederhana, efektif, dan mudah diimplementasikan.

Kata kunci : *Arduino Uno, robot pemadam api, Bluetooth HC-05, flame sensor, robotika.*

1. PENDAHULUAN

Kebakaran merupakan salah satu bencana yang sering terjadi di lingkungan permukiman, industri, maupun fasilitas umum dan dapat mengakibatkan kerugian material, kerusakan lingkungan, serta korban jiwa. Penanganan kebakaran pada tahap awal sangat menentukan tingkat kerusakan yang ditimbulkan, karena api yang masih berskala kecil lebih mudah dikendalikan sebelum berkembang menjadi kebakaran besar. Namun, proses pemadaman awal masih didominasi oleh keterlibatan manusia yang harus mendekati sumber api sehingga meningkatkan risiko terhadap keselamatan petugas maupun masyarakat di sekitar lokasi kejadian [1].

Perkembangan teknologi robotika dan sistem tertanam (embedded system) telah memberikan peluang dalam pengembangan perangkat yang mampu membantu manusia pada lingkungan berbahaya. Salah satu implementasi yang berkembang adalah robot pemadam api (firefighting robot), yaitu robot bergerak (mobile robot) yang dirancang untuk mendeteksi keberadaan api, melakukan navigasi menuju sumber api, menghindari rintangan, serta melakukan proses pemadaman secara otomatis. Penggunaan robot pada tahap awal kebakaran diharapkan mampu meminimalkan risiko kecelakaan kerja sekaligus meningkatkan efektivitas proses penanganan kebakaran skala kecil [2], [3].

Mikrokontroler Arduino Uno menjadi salah satu platform yang banyak digunakan dalam pengembangan robotika karena memiliki biaya yang relatif rendah, bersifat open-source, mudah diprogram, serta didukung oleh ekosistem perangkat

keras dan perangkat lunak yang luas. Integrasi Arduino Uno dengan flame sensor sebagai pendeteksi api, sensor ultrasonik sebagai pendeteksi rintangan, motor driver sebagai pengendali aktuator, serta pompa air sebagai media pemadaman memungkinkan terbentuknya sistem robot yang mampu bekerja secara mandiri maupun dikendalikan secara manual [4], [5].

Berbagai penelitian mengenai robot pemadam api telah dilakukan. Penelitian Oyelami et al. mengembangkan robot pemadam api berbasis multi-sensor yang mampu mendeteksi api dari beberapa arah serta menghindari rintangan secara otomatis menggunakan Arduino Mega [6]. Küçükdermenci mengembangkan robot pemadam api nirkabel yang dilengkapi sensor api, sensor gas, sensor suhu, sensor ultrasonik, dan sistem penyemprotan air untuk meningkatkan kemampuan navigasi dan pemadaman [7]. Sementara itu, Kori et al. mengembangkan robot pemadam api berbasis Arduino Uno dengan kontrol Bluetooth yang mampu bergerak secara manual menggunakan aplikasi Android maupun bekerja secara otomatis berdasarkan pembacaan sensor [8]. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut menggunakan konfigurasi sensor yang relatif kompleks atau lebih menitikberatkan pada salah satu mode pengendalian sehingga implementasinya menjadi kurang sederhana untuk kebutuhan pembelajaran maupun prototipe berbiaya rendah.

Berdasarkan hasil kajian tersebut, masih terdapat kebutuhan terhadap pengembangan robot pemadam api yang memiliki rancangan sederhana, biaya implementasi rendah, namun tetap mampu

mengintegrasikan dua mode operasi, yaitu mode otomatis dan mode manual berbasis Bluetooth dalam satu sistem. Integrasi kedua mode tersebut diharapkan memberikan fleksibilitas penggunaan sesuai kondisi lapangan, baik ketika robot bekerja secara mandiri maupun ketika diperlukan kendali langsung oleh operator.

Oleh karena itu, penelitian ini merancang dan membangun robot pemadam api beroda berbasis Arduino Uno dengan mengintegrasikan flame sensor, sensor ultrasonik HC-SR04, motor driver L293D, motor DC, motor servo, pompa air, dan modul Bluetooth HC-05. Robot dirancang mampu mendeteksi sumber api, menghindari rintangan, bergerak menuju titik api, melakukan pemadaman secara otomatis, serta dapat dikendalikan melalui smartphone pada mode manual. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif solusi awal dalam penanganan kebakaran skala kecil sekaligus menjadi media pembelajaran pada bidang robotika, mikrokontroler, dan sistem tertanam.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Robot Pemadam Api

Robot pemadam api (firefighting robot) merupakan salah satu penerapan teknologi robotika bergerak (mobile robotics) yang dirancang untuk melakukan deteksi, pendekatan, dan pemadaman api secara otomatis maupun semiotomatis. Robot ini dikembangkan sebagai solusi untuk mengurangi risiko keselamatan manusia saat menghadapi kebakaran pada area yang berbahaya atau sulit dijangkau. Sistem robot pemadam api umumnya terdiri atas unit pengendali, sensor pendeteksi api, sensor navigasi, aktuator penggerak, serta mekanisme pemadaman berupa pompa air atau alat pemadam lainnya. Perkembangan robot pemadam api saat ini juga mengarah pada peningkatan kemampuan navigasi, penghindaran rintangan, komunikasi nirkabel, dan pengendalian berbasis perangkat bergerak sehingga mampu meningkatkan efektivitas penanganan kebakaran skala kecil maupun sebagai media pembelajaran robotika [9], [10].

2.2. Arduino Uno

Arduino Uno merupakan papan mikrokontroler berbasis ATmega328P yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem tertanam (embedded system) karena memiliki arsitektur sederhana, bersifat open-source, mudah diprogram menggunakan Arduino IDE, serta didukung oleh berbagai pustaka (library) yang mempermudah integrasi dengan sensor maupun aktuator. Arduino Uno menyediakan pin digital dan analog yang memungkinkan komunikasi dengan berbagai perangkat eksternal seperti sensor api, sensor ultrasonik, motor driver, dan modul komunikasi Bluetooth. Keunggulan tersebut menjadikan Arduino Uno sebagai salah satu platform yang paling banyak digunakan dalam penelitian

robotika, sistem otomatisasi, maupun Internet of Things (IoT) [11], [12].

2.3. Flame Sensor

Flame sensor merupakan sensor inframerah yang digunakan untuk mendeteksi radiasi cahaya yang dipancarkan oleh nyala api pada panjang gelombang tertentu. Sensor ini bekerja dengan mengubah intensitas cahaya inframerah menjadi sinyal listrik yang kemudian diproses oleh mikrokontroler untuk menentukan keberadaan sumber api. Dalam sistem robot pemadam api, flame sensor berfungsi sebagai sensor utama untuk menentukan arah sumber api sehingga robot dapat bergerak menuju titik kebakaran dan mengaktifkan mekanisme pemadaman secara otomatis. Tingkat sensitivitas sensor dapat disesuaikan sesuai kebutuhan aplikasi sehingga mampu meningkatkan akurasi proses deteksi [5], [6].

2.4. Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor ultrasonik HC-SR04 merupakan sensor pengukur jarak yang bekerja berdasarkan prinsip pemantulan gelombang ultrasonik. Sensor menghasilkan gelombang ultrasonik melalui pin trigger, kemudian menerima pantulan melalui pin echo untuk menghitung waktu tempuh gelombang sehingga jarak objek dapat diketahui. Pada robot bergerak, sensor ini digunakan sebagai sistem navigasi untuk mendeteksi keberadaan rintangan dan menghindari tabrakan selama proses pencarian sumber api. Penggunaan sensor ultrasonik meningkatkan kemampuan robot dalam bergerak secara lebih aman dan efisien pada lingkungan yang memiliki banyak hambatan [13], [14].

2.5. Modul Bluetooth HC-05

Bluetooth HC-05 merupakan modul komunikasi nirkabel yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dan mendukung komunikasi serial (Serial Port Profile/SPP) antara mikrokontroler dengan perangkat bergerak seperti smartphone Android. Modul ini memungkinkan pengguna mengendalikan arah pergerakan robot secara langsung melalui aplikasi Bluetooth tanpa memerlukan koneksi internet. Implementasi Bluetooth HC-05 pada robot pemadam api memberikan fleksibilitas karena robot dapat dioperasikan secara manual ketika mode otomatis tidak memungkinkan untuk digunakan, sehingga meningkatkan keandalan sistem dalam berbagai kondisi operasional [15], [16].

2.6. Penelitian Relevan

Penelitian mengenai robot pemadam api telah banyak dilakukan dengan berbagai pendekatan, baik menggunakan sistem kendali otomatis, komunikasi nirkabel, maupun integrasi beberapa jenis sensor. Hasil penelitian terdahulu menjadi dasar dalam pengembangan sistem pada penelitian ini sekaligus menunjukkan adanya peluang untuk meningkatkan

fleksibilitas pengendalian, efisiensi navigasi, dan efektivitas pemadaman api.

Penelitian [10] mengembangkan robot pemadam api otonom berbasis Arduino untuk lingkungan laboratorium. Sistem tersebut menggunakan sensor inframerah dengan jangkauan 180°, mekanisme penyemprot air berbasis servo, serta algoritma navigasi otomatis. Hasil pengujian menunjukkan akurasi deteksi api sebesar 95,8%, keberhasilan pemadaman 98% dari 250 kali pengujian, dan rata-rata waktu pemadaman 18,9 detik. Hasil tersebut menunjukkan efektivitas pendekatan otonom, tetapi sistem belum menyediakan pengendalian manual melalui perangkat bergerak.

Pendekatan multi-sensor dengan mekanisme penghindaran rintangan juga telah diterapkan pada robot pemadam api untuk meningkatkan kemampuan deteksi dan navigasi [6]. Sistem menggunakan beberapa sensor untuk membaca kondisi lingkungan dan membantu robot menghindari objek selama bergerak menuju sumber api. Pendekatan ini memperluas kemampuan persepsi robot, namun konfigurasi sensor yang lebih banyak meningkatkan kompleksitas implementasi dibandingkan prototipe yang dirancang untuk kebutuhan pembelajaran dan biaya rendah.

Robot pemadam api berbasis Arduino Uno yang dapat dikendalikan melalui aplikasi Android sekaligus bekerja otomatis berdasarkan pembacaan sensor telah dikembangkan pada penelitian [8]. Sistem memanfaatkan flame sensor, motor DC, pompa air, dan Arduino Uno sebagai pengendali utama. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa integrasi kendali manual dan otomatis dapat meningkatkan fleksibilitas pengoperasian robot pada skala laboratorium.

Sistem robot pemadam api nirkabel dengan penghindaran rintangan dan mekanisme pemadaman juga dikembangkan dengan mengintegrasikan sensor api, sensor gas, sensor suhu, sensor ultrasonik, serta penyemprotan air [7]. Integrasi multi-sensor memberikan informasi lingkungan yang lebih beragam, tetapi menambah kebutuhan perangkat keras dan kompleksitas sistem.

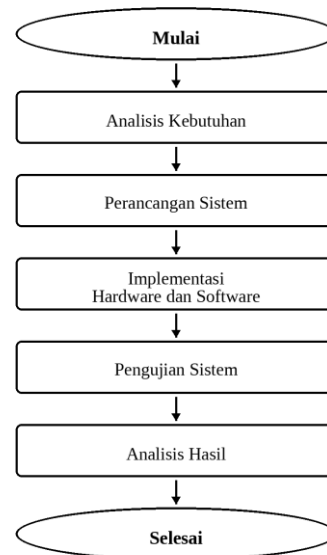
Pendekatan berbiaya rendah berbasis Arduino dan komunikasi Bluetooth juga dilaporkan pada penelitian [5]. Selain itu, kontrol Bluetooth telah diterapkan untuk memberikan kendali jarak jauh pada robot pemadam kebakaran [17]. Kedua pendekatan tersebut memperlihatkan manfaat komunikasi nirkabel untuk pengoperasian robot, terutama ketika intervensi operator diperlukan pada kondisi tertentu.

Berdasarkan penelitian terdahulu, kontribusi penelitian ini diarahkan pada implementasi konfigurasi yang sederhana dan terukur berbasis Arduino Uno dengan lima flame sensor, sensor ultrasonik HC-SR04 pada servo, motor driver L293D, motor DC, pompa air, dan Bluetooth HC-05. Sistem menggabungkan mode otomatis dan manual serta mengevaluasi kinerja deteksi api, pengukuran jarak,

komunikasi Bluetooth, pemadaman, dan fungsi kedua mode operasi secara terpisah.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen (experimental research) yang bertujuan untuk merancang, membangun, serta menguji kinerja robot pemadam api beroda berbasis Arduino Uno dengan dua mode operasi, yaitu mode otomatis dan mode manual berbasis Bluetooth. Metode eksperimen dipilih karena memungkinkan peneliti melakukan pengujian secara langsung terhadap fungsi setiap komponen perangkat keras maupun perangkat lunak yang terintegrasi dalam sistem robot. Tahapan penelitian meliputi analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, serta pengujian kinerja robot berdasarkan skenario yang telah ditentukan. Alur tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Tahapan Penelitian

Pada tahap analisis kebutuhan, dilakukan identifikasi terhadap kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan dalam pengembangan robot. Perangkat keras yang digunakan meliputi Arduino Uno sebagai pengendali utama, flame sensor sebagai pendeteksi api, sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai pendeteksi rintangan, motor driver L293D, motor DC, motor servo, pompa air mini, modul Bluetooth HC-05, serta catu daya. Adapun perangkat lunak yang digunakan adalah Arduino IDE untuk pengembangan program mikrokontroler dan aplikasi Bluetooth pada smartphone Android sebagai media pengendalian manual.

Tahap berikutnya adalah perancangan sistem, yang meliputi penyusunan diagram blok sistem, perancangan rangkaian elektronik, serta penyusunan algoritma kerja robot dalam bentuk flowchart. Pada tahap ini ditentukan hubungan antar komponen sehingga robot mampu menerima data dari sensor,

memproses data menggunakan Arduino Uno, kemudian menghasilkan keluaran berupa pergerakan motor, pengoperasian pompa air, dan komunikasi Bluetooth sesuai kondisi yang terdeteksi.

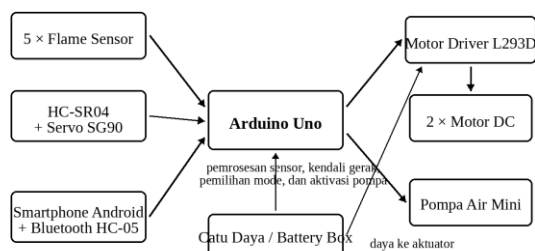
Selanjutnya dilakukan implementasi sistem, yaitu proses perakitan seluruh komponen perangkat keras dan pengembangan perangkat lunak berdasarkan rancangan yang telah dibuat. Program dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman C pada Arduino IDE. Robot dirancang memiliki dua mode operasi. Pada mode otomatis, robot bergerak berdasarkan pembacaan flame sensor dan sensor ultrasonik untuk mencari sumber api, menghindari rintangan, kemudian mengaktifkan pompa air saat mencapai titik api. Pada mode manual, robot dikendalikan melalui smartphone menggunakan komunikasi Bluetooth HC-05 sehingga operator dapat mengatur arah pergerakan robot dan mengaktifkan pompa air secara langsung.

Tahap terakhir adalah pengujian sistem untuk mengevaluasi kinerja robot. Pengujian dilakukan terhadap setiap komponen secara terpisah maupun secara terintegrasi, meliputi pengujian flame sensor, sensor ultrasonik HC-SR04, komunikasi Bluetooth HC-05, pompa air, mode otomatis, dan mode manual. Parameter yang diamati meliputi kemampuan sensor dalam mendeteksi objek dan api, keberhasilan komunikasi Bluetooth, kemampuan robot menghindari rintangan, keberhasilan proses pemadaman api, serta kesesuaian fungsi sistem dengan rancangan yang telah dibuat. Hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui tingkat keberhasilan implementasi sistem dan mengevaluasi kinerja robot secara keseluruhan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Implementasi Hardware

Implementasi perangkat keras dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh komponen elektronik sesuai dengan rancangan sistem sehingga membentuk sebuah robot pemadam api beroda berbasis Arduino Uno. Arduino Uno berfungsi sebagai pusat pengendali yang menerima data dari flame sensor dan sensor ultrasonik HC-SR04, kemudian memproses data tersebut untuk mengendalikan motor DC, motor servo, pompa air, serta modul Bluetooth HC-05. Hubungan antarkomponen utama ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem Robot Pemadam Api

Robot dilengkapi lima buah flame sensor yang berfungsi mendeteksi keberadaan api dari beberapa arah sehingga posisi sumber api dapat diketahui dengan lebih akurat. Sensor ultrasonik HC-SR04 dipasang pada motor servo SG90 untuk melakukan pemindaian lingkungan ke arah kiri, depan, dan kanan sehingga robot mampu mendeteksi rintangan sebelum bergerak menuju sumber api. Pergerakan robot dikendalikan menggunakan dua motor DC melalui motor driver L293D, sedangkan pompa air mini digunakan sebagai aktuator utama dalam proses pemadaman api. Selain bekerja secara otomatis, robot juga dapat dikendalikan secara manual menggunakan smartphone melalui komunikasi Bluetooth HC-05.

Implementasi perangkat keras menghasilkan sistem yang mampu mengintegrasikan seluruh komponen secara optimal sehingga setiap sensor dan aktuator dapat bekerja sesuai fungsi yang telah dirancang.



Gambar 3. Robot Pemadam Api

4.2. Implementasi Software

Implementasi perangkat lunak dilakukan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C. Program yang dikembangkan bertugas mengendalikan seluruh proses kerja robot, mulai dari inisialisasi perangkat, pembacaan sensor, pengambilan keputusan, pengendalian aktuator, hingga komunikasi Bluetooth.

Pada saat sistem dinyalakan, Arduino melakukan proses inisialisasi seluruh pin input dan output yang digunakan oleh sensor maupun aktuator. Selanjutnya sistem membaca data dari flame sensor dan sensor ultrasonik secara terus-menerus. Apabila

flame sensor mendeteksi adanya api, Arduino akan menentukan arah sumber api, kemudian menggerakkan motor DC menuju lokasi api dengan tetap memperhatikan data jarak dari sensor ultrasonik agar robot dapat menghindari rintangan.

Ketika robot telah mencapai jarak efektif terhadap sumber api, Arduino mengaktifkan pompa air mini untuk melakukan penyemprotan hingga flame sensor tidak lagi mendeteksi nyala api. Setelah

api berhasil dipadamkan, pompa air akan dimatikan secara otomatis dan robot kembali ke kondisi siaga.

Selain mode otomatis, perangkat lunak juga menyediakan mode manual melalui modul Bluetooth HC-05. Pada mode ini, pengguna dapat mengendalikan arah gerak robot menggunakan smartphone Android, termasuk mengaktifkan maupun mematikan pompa air sesuai kebutuhan.

Tabel 1. Implementasi Perangkat Lunak

No	Modul Program	Fungsi
1	Inisialisasi Sistem	Mengatur konfigurasi pin dan komunikasi serial
2	Pembacaan Flame Sensor	Mendeteksi keberadaan dan arah api
3	Pembacaan Sensor Ultrasonik	Mengukur jarak rintangan
4	Pengendalian Motor DC	Mengatur gerakan maju, mundur, kanan, kiri, dan berhenti
5	Pengendalian Servo	Menggerakkan sensor ultrasonik untuk pemindaian
6	Pengendalian Pompa Air	Mengaktifkan dan menonaktifkan pompa
7	Komunikasi Bluetooth	Menerima perintah dari smartphone
8	Mode Otomatis	Navigasi dan pemadaman api secara otomatis
9	Mode Manual	Pengendalian robot melalui Bluetooth

4.3. Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja setiap komponen penyusun robot serta memastikan seluruh sistem dapat bekerja sesuai dengan rancangan. Pengujian meliputi flame sensor, sensor ultrasonik HC-SR04, komunikasi Bluetooth HC-05, pompa air, mode otomatis, dan mode manual. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh komponen dapat berfungsi dengan baik sehingga robot mampu mendeteksi api, menghindari rintangan, melakukan pemadaman secara otomatis, maupun dikendalikan secara manual menggunakan smartphone.

4.4. Pengujian Flame Sensor

Pengujian flame sensor dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi sumber api pada beberapa variasi jarak.

Tabel 2. Hasil Pengujian Flame Sensor

No	Jarak Api (cm)	Api Terdeteksi	Respon Robot	Keterangan
1	2	Terdeteksi	Pompa ON	Berhasil
2	4	Terdeteksi	Pompa ON	Berhasil
3	6	Terdeteksi	Pompa ON	Berhasil
4	8	Terdeteksi	Pompa ON	Berhasil
5	10	Tidak terdeteksi	Pompa OFF	Tidak Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian, flame sensor mampu mendeteksi sumber api secara stabil hingga jarak 8 cm. Pada jarak 10 cm, sensor tidak lagi memberikan respon sehingga robot tidak dapat mengenali keberadaan api.

4.5. Pengujian Sensor Ultrasonik

Pengujian sensor ultrasonik HC-SR04 dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi pengukuran jarak terhadap objek di depan robot.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik

No	Jarak Sebenarnya (cm)	Hasil Sensor (cm)	Error (cm)	Keterangan
1	5	5	0	Berhasil
2	10	10	0	Berhasil
3	15	15	0	Berhasil
4	20	19	1	Berhasil
5	25	24	1	Berhasil

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor ultrasonik memiliki rata-rata kesalahan sebesar 0,4 cm, sehingga mampu digunakan sebagai sensor navigasi untuk mendeteksi rintangan dengan tingkat akurasi yang baik.

4.6. Pengujian Komunikasi Bluetooth

Pengujian komunikasi Bluetooth dilakukan untuk mengetahui jarak efektif komunikasi antara smartphone Android dan robot.

Tabel 4. Hasil Pengujian Komunikasi Bluetooth

No	Jarak (m)	Koneksi	Respon Robot	Keterangan
1	2	Terhubung	Baik	Berhasil
2	4	Terhubung	Baik	Berhasil
3	6	Terhubung	Baik	Berhasil
4	8	Terhubung	Respon lambat	Kurang stabil
5	10	Terputus	Tidak merespon	Gagal

Pengujian menunjukkan bahwa modul Bluetooth HC-05 mampu mempertahankan komunikasi hingga jarak 8 meter, sedangkan pada jarak 10 meter koneksi terputus sehingga robot tidak lagi menerima perintah dari smartphone.

4.7. Pengujian Pompa Air

Pengujian pompa air dilakukan untuk mengetahui kemampuan aktuator dalam memadamkan api setelah robot berhasil mendekati sumber api.

Tabel 5. Hasil Pengujian Pompa Air

No	Percobaan	Pompa Aktif	Api Padam	Waktu Pemadaman (detik)
1	Pertama	ON	Ya	5,5
2	Kedua	ON	Ya	5,2
3	Ketiga	ON	Ya	5,5
4	Keempat	ON	Ya	6,3
5	Kelima	ON	Ya	5,8

4.8. Pengujian Mode Otomatis

Pengujian mode otomatis dilakukan untuk mengetahui kemampuan robot dalam mendeteksi api, menghindari rintangan, mendekati sumber api, serta melakukan pemadaman tanpa campur tangan pengguna.

Tabel 6. Hasil Pengujian Mode Otomatis

No	Percobaan	Api Terdeteksi	Hindari Halangan	Api Padam	Hasil
1	Pertama	Terdeteksi	Berhasil	Ya	Berhasil
2	Kedua	Terdeteksi	Berhasil	Ya	Berhasil
3	Ketiga	Terdeteksi	Berhasil	Ya	Berhasil
4	Keempat	Terdeteksi	Berhasil	Ya	Berhasil
5	Kelima	Terdeteksi	Berhasil	Ya	Berhasil

4.9. Pengujian Mode Manual

Pengujian mode manual dilakukan menggunakan aplikasi Bluetooth pada smartphone Android untuk memastikan seluruh perintah dapat diterima dan dieksekusi oleh robot.

Tabel 7. Hasil Pengujian Mode Manual

No	Perintah	Respon Robot	Keterangan
1	Maju	Robot maju	Berhasil
2	Mundur	Robot mundur	Berhasil
3	Belok kanan	Robot berbelok ke kanan	Berhasil
4	Belok kiri	Robot berbelok ke kiri	Berhasil
5	Pompa ON	Pompa menyala	Berhasil
6	Pompa OFF	Pompa berhenti	Berhasil
7	Pergantian mode	Robot berganti mode	Berhasil

4.10. Rekapitulasi Pengujian

Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian, robot pemadam api berbasis Arduino Uno mampu menjalankan fungsi yang dirancang. Flame sensor mendeteksi api secara stabil hingga jarak 8 cm, sensor ultrasonik memiliki rata-rata kesalahan 0,4 cm, dan komunikasi Bluetooth dapat dipertahankan hingga jarak 8 meter meskipun respons mulai melambat pada jarak tersebut. Rata-rata waktu pemadaman dari lima percobaan adalah 5,66 detik. Pada lima percobaan mode otomatis, seluruh

rangkaian proses deteksi, penghindaran rintangan, dan pemadaman berhasil dijalankan, sedangkan seluruh perintah yang diuji pada mode manual dapat dieksekusi sesuai fungsi. Hasil ini menunjukkan bahwa prototipe memenuhi fungsi dasar yang dirancang untuk pengujian kebakaran skala kecil.

5. KESIMPULAN

Robot pemadam api beroda berbasis Arduino Uno berhasil diimplementasikan dengan dua mode operasi, yaitu otomatis dan manual berbasis Bluetooth. Pengujian menunjukkan flame sensor bekerja stabil sampai 8 cm, rata-rata kesalahan sensor ultrasonik sebesar 0,4 cm, komunikasi Bluetooth efektif sampai 8 meter, dan rata-rata waktu pemadaman sebesar 5,66 detik pada lima percobaan. Lima percobaan mode otomatis berhasil menyelesaikan proses deteksi, penghindaran rintangan, dan pemadaman, sedangkan seluruh perintah pada mode manual dapat dijalankan sesuai fungsi. Dengan demikian, prototipe dapat digunakan sebagai media pembelajaran robotika dan sebagai demonstrator penanganan api skala kecil. Pengujian masih terbatas pada lingkungan dan jumlah percobaan yang terbatas; penelitian selanjutnya perlu menambah variasi ukuran serta posisi api, jenis rintangan, jarak pengujian, dan sensor lingkungan agar kinerja sistem dapat dievaluasi secara lebih menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. I. N. Ahirman et al., "Pemadaman Api dengan Teknik Tradisional dan Modern di SMPN 2 Penajam Paser Utara (PPU) Desa Tengin Baru," *Abdimas Universal*, vol. 6, no. 2, pp. 218–223, 2024.
- [2] A. T. Oyelami, J. A. Oyadokun, O. A. Akintunlaji, and G. C. Ihenacho, "Low-cost Multi-sensing Fire-fighting Robot with Obstacle Avoidance Mechanism," *IAES International Journal of Robotics and Automation*, vol. 13, no. 4, pp. 373–379, 2024.
- [3] S. Küçükdermenci, "Development of a Wireless Firefighting Robot with Obstacle Avoidance and Fire Extinguishing Modes," in *Proceedings of the 3rd International Conference on Frontiers in Academic Research*, 2024.
- [4] V. Kori, A. K. Ahirwar, J. K. Saket, S. Bagri, and D. P. S. Chauhan, "Smart Firefighting Robot Using Arduino Uno," *International Journal of Electronics Automation*, vol. 3, no. 1, pp. 21–27, 2025.
- [5] U. B. Turai et al., "Design and Construction of a Low-cost Autonomous Firefighting Robot Using Bluetooth Module and Arduino," 2024.
- [6] A. T. Oyelami, J. A. Oyadokun, O. A. Akintunlaji, and G. C. Ihenacho, "Low-cost Multi-sensing Fire-fighting Robot with Obstacle Avoidance Mechanism," *IAES International*

- Journal of Robotics and Automation, vol. 13, no. 4, 2024.
- [7] S. Küçükdermenci, "Development of a Wireless Firefighting Robot with Obstacle Avoidance and Fire Extinguishing Modes," 2024.
- [8] V. Kori et al., "Smart Firefighting Robot Using Arduino Uno," International Journal of Electronics Automation, vol. 3, no. 1, pp. 21–27, 2025.
- [9] V. Prakash, O. P. Sao, S. K. Sahu, and S. Wadhwa, "A Review Paper on Fire Fighter Robot," International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET), vol. 13, no. 2, 2025.
- [10] M. M. Maruf, M. M. H. Sagor, S. K. Kanta, and M. H. Imran, "An Autonomous Arduino-Based Firefighting Robot for Laboratory Environments," International Journal of Computer Applications, vol. 187, no. 28, pp. 56–65, 2025.
- [11] Arduino, "Arduino Documentation," Arduino, 2024.
- [12] S. J. Woodman, D. S. Shah, M. Landesberg, A. Agrawala, and R. Kramer-Bottiglio, "Stretchable Arduinos Embedded in Soft Robots," arXiv preprint arXiv:2409.10333, 2024.
- [13] A. Sheikh, G. Purohit, V. C. Raut, R. R. Abdul, and C. H. Kidile, "Review Paper on Arduino Based Fire Fighting Robot," International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, vol. 10, no. 5, pp. 3769–3774, 2022.
- [14] V. M. Maurya, V. R. Pardeshi, and H. A. Verma, "Arduino Based Fire-Fighting Robot," International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology, vol. 9, no. 4, 2022.
- [15] A. K. Yadav, A. Prasad, A. K. Yadav, Satyam, A. K. Singh, and A. P. Singh, "Design and Implementation of an Automatic Fire Extinguishing System Using Arduino UNO," Journal of Microelectronics and Solid State Devices, vol. 12, no. 1, pp. 6–12, 2025.
- [16] D. N. P. Giradkar, T. Bawane, A. Saratkar, A. Bawane, and K. Thakare, "A Review on Fire Fighter Robot Using Arduino with SMS Alert System," International Journal of Scientific Research in Science and Technology, vol. 12, no. 2, 2025.
- [17] Y. Bhosale, R. Pujari, R. Pawar, A. Birajdar, and M. D. Kawade, "Bluetooth Control Fire Fighting Robot & Pick and Place Arm," International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, vol. 14, no. 4, 2026.