



Analisis Jarak Deteksi dan Respon Robot Pendeteksi Api Berbasis Sensor Cahaya

^a Ratna Hartayu, ^bNiken Adriaty Basyarach, ^cKurnia Paranita Kartika Riyanti, ^dSantoso, ^eAhmad Ridho'i, ^fKukuh Setyadjit

a, b, c, d, e, f Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

^arhartayu@untag-sby.ac.id

^{*d}santoso@untag-sby.ac.id

Kata Kunci :

Robot pendeteksi api
Flame sensor
Jarak deteksi
Respon robot
Otomasi keamanan

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis performa robot pendeteksi api otomatis berbasis sensor cahaya flame 5 channel dan mikrokontroler Arduino Uno. Sistem dirancang agar robot bergerak maju secara otonom dan berhenti ketika mendeteksi intensitas cahaya tinggi dari sumber api. Flame sensor menghasilkan sinyal analog yang diproses oleh Arduino untuk mengendalikan aktuator berupa motor DC dan indikator LED. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan jarak sumber api (lilin) dari 10 hingga 80 cm. Hasil menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi api secara akurat hingga jarak 70 cm, dengan tegangan output menurun dari $\pm 4.9V$ pada 10 cm menjadi $\pm 0.5V$ pada 80 cm. Respon robot terhadap deteksi api berkisar antara 1.15 hingga 1.90 detik, dengan rata-rata keberhasilan deteksi mencapai 85% dalam berbagai skenario. Kendala teknis seperti sensitivitas terhadap cahaya luar dan inersia motor diidentifikasi, dengan solusi potensial berupa penggunaan filter inframerah dan sistem pemadam tambahan. Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi flame sensor dan Arduino dalam sistem robotik efektif untuk deteksi dini kebakaran dalam ruang tertutup

This study aims to design and analyze the performance of an automatic fire detection robot based on a 5-channel flame light sensor and an Arduino Uno microcontroller. The system is designed so that the robot moves forward autonomously and stops when it detects high light intensity from a fire source. The flame sensor produces an analog signal that is processed by the Arduino to control the actuator in the form of a DC motor and LED indicator. Testing was carried out by varying the distance of the fire source (candle) from 10 to 80 cm. The results show that the sensor is able to detect fire accurately up to a distance of 70 cm, with the output voltage decreasing from $\pm 4.9V$ at 10 cm to $\pm 0.5V$ at 80 cm. The robot's response to fire detection ranged from 1.15 to 1.90 seconds, with an average detection success rate of 85% in various scenarios. Technical constraints such as sensitivity to external light and motor inertia were identified, with potential solutions in the form of using

an infrared filter and additional extinguishing system. This study shows that the integration of the flame sensor and Arduino in a robotic system is effective for early detection of fires in closed spaces

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi robotika dan sistem tertanam (*embedded system*) telah memungkinkan pengembangan robot-robot cerdas yang dapat menggantikan tugas manusia dalam lingkungan berbahaya atau memerlukan respon cepat (Zhang and Li, 2023). Salah satu aplikasi penting dari teknologi ini adalah robot pendeteksi api, yang dirancang untuk mengenali dan merespon keberadaan nyala api dalam suatu ruangan secara otomatis. Deteksi dini terhadap api sangat krusial untuk mencegah kebakaran besar, terutama di tempat-tempat yang rentan seperti laboratorium, pabrik, gudang, dan perumahan (Fatimah and Santoso, 2015).

Robot pendeteksi api merupakan sistem bergerak otonom yang dilengkapi dengan sensor cahaya untuk mengenali nyala api, serta kontroler sebagai unit kendali untuk menentukan aksi berdasarkan sinyal sensor. Sensor yang umum digunakan adalah flame sensor 5 channel, yang memiliki kemampuan untuk mendeteksi sinyal inframerah dan ultraviolet dari api dengan sudut jangkauan lebih dari 120° dan jarak efektif hingga 80 cm (Monica P Suresh, 2022). Sensor ini menghasilkan output analog yang sebanding dengan intensitas cahaya, dan sinyal ini diolah oleh kontroler untuk mengatur respon robot.

Dalam penelitian ini, sistem dikendalikan oleh Arduino Uno, sebuah platform kontroler berbasis ATmega328P. Arduino dipilih karena memiliki antarmuka pemrograman yang sederhana, dilengkapi dengan ADC 10-bit yang memungkinkan pembacaan sinyal analog dari flame sensor secara akurat (Wijaya, Ikhsan and Sugianto, 2022). Beberapa studi sebelumnya telah mengeksplorasi penggunaan sensor cahaya dalam sistem deteksi kebakaran. (Amri, 2010) menggunakan sensor UVTRON dalam robot pemadam api dan menunjukkan respon yang cepat terhadap pancaran api. (Maspiyanti and Hadiyanti, 2017) mengembangkan robot pemadam api berbasis sensor ultrasonik dan kontroler, namun belum fokus pada respon terhadap cahaya api. Penelitian menggunakan flame sensor untuk robot pendeteksi api berbasis PIC, tetapi analisis hubungan jarak dan tegangan sensor belum dibahas mendalam (Arias *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2012; Hutagalung, 2018).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara jarak sumber api dan sinyal output flame sensor serta mengevaluasi respon sistem robot terhadap variasi posisi sumber api. Sistem ini diharapkan menjadi solusi awal mitigasi kebakaran skala kecil melalui integrasi antara sensor cahaya dan kendali yang adaptif (Rosit *et al.*, 2023).

Robot pendeteksi api merupakan aplikasi penting dalam otomasi dan keamanan berbasis kontroler. Sistem ini mendeteksi nyala api melalui karakteristik cahaya inframerah dan ultraviolet, lalu merespons dengan gerakan atau peringatan (Fatimah and Santoso, 2015). Seiring meningkatnya kasus kebakaran di area industri dan pemukiman padat, kebutuhan akan sistem deteksi otomatis yang efisien makin mendesak (Juwariyah, 2018).

Flame sensor menjadi komponen utama dalam sistem ini. Sensor ini bekerja mendeteksi cahaya inframerah dengan panjang gelombang tertentu yang dipancarkan oleh api. Flame sensor 5 channel lebih unggul dari sensor tunggal karena mencakup sudut pandang lebih luas dan mampu menentukan arah datangnya api secara lebih akurat. Sensor ini menghasilkan tegangan analog yang dibaca oleh kontroler (Cheong *et al.*, 2011; Gaur *et al.*, 2019; Cahyadi, Mirza and Laila, 2022).

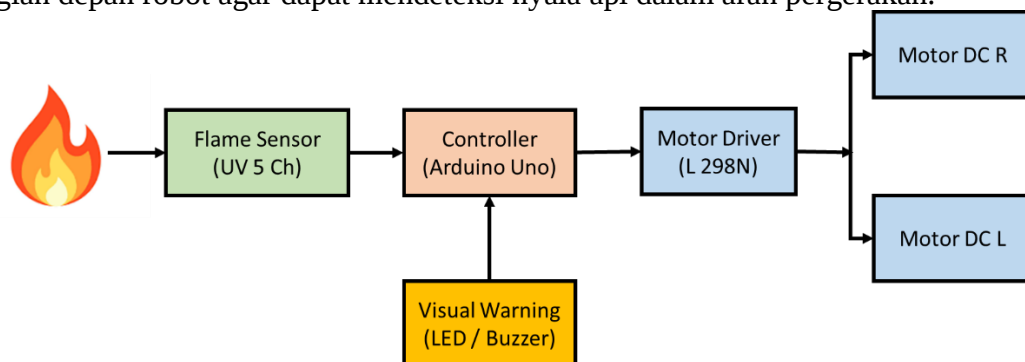
Penelitian terdahulu menunjukkan berbagai pendekatan: Amri (2010) menggunakan sensor UVTRON; Hermawan (2010) memanfaatkan kontroler PIC; Wahyudi (2017)

mengintegrasikan sensor dan indikator suara. (Santoso and Mursyid, 2017) melaporkan bahwa robot berbasis Arduino dan sensor inframerah dapat mendeteksi api dengan akurasi >90% . Kontrol motor DC umumnya dilakukan menggunakan IC driver L293D atau L298N berdasarkan sinyal dari Arduino (Santoso *et al.*, 2023). Keberhasilan sistem bergantung pada integrasi antara sensor, kontroler, dan aktuator. Kontribusi utama dari penelitian ini adalah memberikan analisis kuantitatif hubungan antara jarak api dan sinyal analog flame sensor 5 channel secara rinci, serta mengevaluasi kinerja robot dalam merespon variasi posisi api. Studi ini mengisi kekosongan dari penelitian sebelumnya yang belum mengulas performa deteksi berdasarkan jarak dan waktu respon secara sistematis.

2. METODE

2.1. Rancang Bangun Sistem

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sistem robot bergerak berbasis Arduino Uno yang mampu mendeteksi sumber api berdasarkan intensitas cahaya menggunakan flame sensor 5 channel. Metode yang digunakan meliputi desain perangkat keras dan lunak, kalibrasi sensor, akuisisi data, serta analisis hubungan antara jarak sumber api dan tegangan sensor. Skema blok sistem ditunjukkan pada Gambar 1, yang terdiri dari flame sensor sebagai input, Arduino sebagai pengolah data, dan motor DC sebagai aktuator. Flame sensor ditempatkan pada bagian depan robot agar dapat mendeteksi nyala api dalam arah pergerakan.



Gambar 1.Diagram blok sistem robot pendeteksi api berbasis Arduino

Pada gambar 1, Flame sensor (IR/UV) digunakan untuk mendeteksi keberadaan api dengan menangkap cahaya inframerah atau ultraviolet yang dipancarkan oleh nyala api. Sensor ini menghasilkan sinyal analog yang merepresentasikan intensitas cahaya yang diterima. Kontroller membaca sinyal analog tersebut melalui ADC (*Analog-to-Digital Converter*), lalu memproses data untuk menentukan keberadaan dan arah sumber api. Keputusan dari kontroller kemudian diteruskan ke motor driver seperti L298N, yang mengatur arah dan kecepatan motor sesuai logika kontrol. Motor DC berfungsi menggerakkan robot menuju sumber api, berdasarkan arah yang ditentukan dari data sensor. Sistem juga dilengkapi indikator visual dan suara, seperti LED atau buzzer, untuk memberikan peringatan saat api terdeteksi.

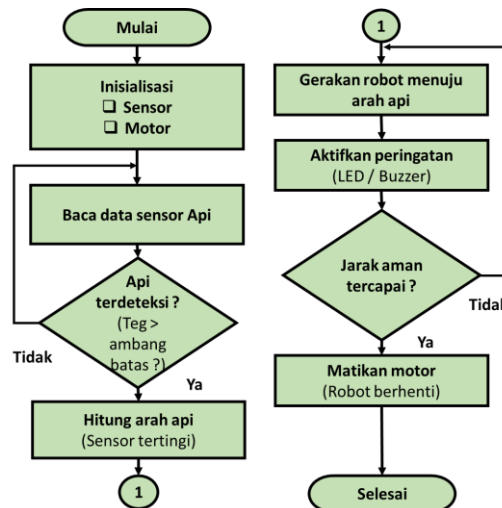
Kalibrasi sensor dilakukan dengan mengatur jarak sumber api (lilin) dari sensor mulai dari 10 cm hingga 80 cm dengan kenaikan 10 cm. Tegangan sensor diukur menggunakan fungsi *analogRead()* pada Arduino, dan waktu respon diukur menggunakan stopwatch digital dari saat LED menyala hingga robot berhenti. Setiap pengujian dilakukan sebanyak tiga kali dan dirata-ratakan untuk mengurangi kesalahan acak.

Tegangan sensor dinyatakan sebagai:

$$V_{out} = \left(\frac{ADC_{value}}{1023} \right) \times 5V \quad (1)$$

di mana ADC_{value} adalah nilai digital dari pembacaan sensor (0–1023), V_{out} adalah tegangan

keluaran sensor (0–5V). Data yang dikumpulkan dianalisis untuk mengetahui pola penurunan tegangan terhadap jarak api.



Gambar 2. Flowchart sistem kendali robot pendeteksi api

Sistem kendali robot pendeteksi api dimulai dengan proses inisialisasi, di mana seluruh komponen seperti sensor flame dan aktuator disiapkan. Setelah sistem aktif, flame sensor akan secara kontinu membaca intensitas cahaya inframerah di sekitarnya. Data sensor kemudian dianalisis oleh kontroler untuk menentukan apakah terdapat nyala api, dengan membandingkan nilai tegangan terhadap ambang batas (*threshold*) yang telah ditentukan. Jika nyala api terdeteksi, selanjutnya mengidentifikasi arah sumber api dengan menentukan channel sensor yang menerima sinyal paling kuat. Berdasarkan informasi tersebut, robot diarahkan untuk bergerak menuju sumber api. Selama proses ini, sistem juga mengaktifkan peringatan visual atau suara seperti LED dan buzzer sebagai tanda bahaya. Ketika robot mendekati api, sistem akan memeriksa apakah jarak terhadap sumber api sudah berada dalam batas aman. Jika ya, robot akan berhenti; jika belum, pergerakan dilanjutkan hingga posisi aman tercapai.

3. Hasil dan Pembahasan

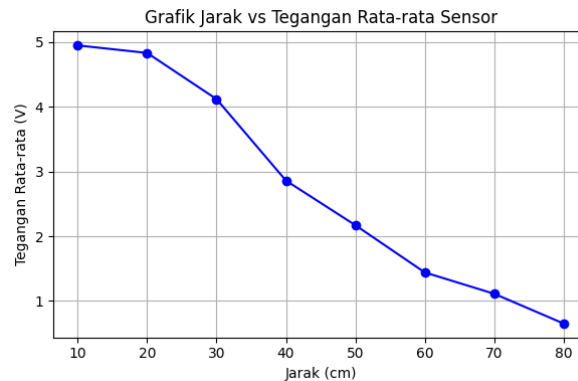
3.1. Implementasi Sistem Robot

Setelah seluruh perangkat keras terintegrasi, dilakukan uji coba sistem pada sebuah ruangan dengan kondisi pencahayaan rendah. Flame sensor 5 channel diletakkan pada bagian depan robot agar dapat mendeteksi api di depannya. Robot diprogram terus bergerak maju hingga mendeteksi nilai tegangan tinggi dari salah satu sensor. Ketika sensor membaca nilai lebih besar dari ambang batas ($> 3.5V$), robot akan berhenti dan menyalakan LED. Pengujian dengan mendekatkan lilin ke sensor pada jarak 10 cm hingga 80 cm. Pengukuran dilakukan 3 kali dan hasilnya dirata-rata. Berikut adalah hasil pengukurannya.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Tegangan Flame Sensor terhadap Jarak

Jarak (cm)	Sensor 1 (V)	Sensor 2 (V)	Sensor 3 (V)	Sensor 4 (V)	Sensor 5 (V)
10	4.96	4.95	4.97	4.93	4.94
20	4.85	4.86	4.84	4.82	4.80
30	4.20	4.10	4.35	4.00	3.95
40	3.00	2.80	3.50	2.60	2.40
50	2.10	2.00	3.00	1.90	1.85

Jarak (cm)	Sensor 1 (V)	Sensor 2 (V)	Sensor 3 (V)	Sensor 4 (V)	Sensor 5 (V)
60	1.50	1.20	2.50	1.00	1.00
70	1.00	0.90	2.00	0.85	0.80
80	0.50	0.60	1.20	0.50	0.45



Gambar 3. Grafik hubungan Jarak terhadap Tegangan rata-rata sensor flame

Berdasarkan pengamatan dan data tabel, dapat disimpulkan bahwa jarak deteksi efektif berada pada kisaran 10 cm hingga 70 cm. Pada jarak lebih dari 70 cm, sebagian besar sensor mulai gagal memberikan sinyal yang cukup untuk memicu logika deteksi pada kontroler.

$$Efektifitas\ deteksi = \frac{Rentang\ deteksi\ efektif}{Rentang\ pengujian} \times 100\% = \frac{70}{80} \times 100\% = 87,5\%$$

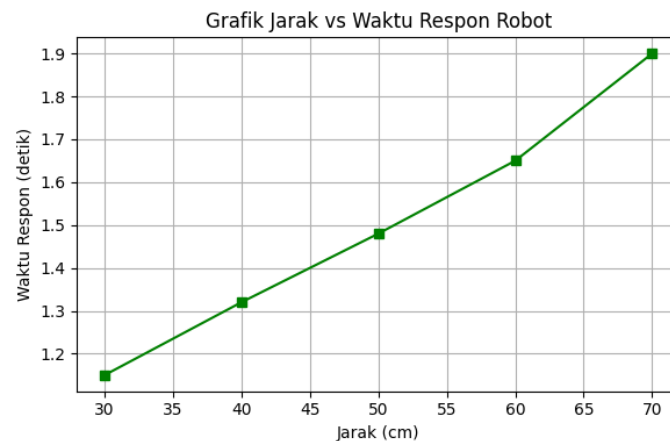
Sistem mampu mendeteksi nyala api secara efektif hingga 87,5% dari jarak maksimum pengujian, yaitu 80 cm. Nilai ini menunjukkan bahwa sensor bekerja cukup andal dalam jarak yang relatif dekat hingga menengah, namun kinerjanya menurun signifikan ketika jarak sumber api melebihi 70 cm.

3.2. Respon Sistem Terhadap Api

Waktu respon diukur dari saat sensor mendeteksi tegangan ambang hingga robot berhenti. Waktu ini terdiri dari waktu olah sensor dan delay motor. Hasil pengujian rata-rata:

Tabel 2. Waktu Respon Sistem Terhadap Deteksi Api

No	Jarak (cm)	Waktu Respon (detik)
1	30	1.15
2	40	1.32
3	50	1.48
4	60	1.65
5	70	1.90



Gambar 4. Grafik hubungan Jarak terhadap Waktu Respon Robot

Grafik menunjukkan kecenderungan linier antara jarak dan waktu respon, di mana semakin jauh api, waktu yang dibutuhkan robot untuk berhenti meningkat. Hal ini disebabkan oleh penurunan sinyal sensor mendekati nilai ambang deteksi serta keterlambatan mekanik pada aktuator.

Rata-rata waktu respon meningkat seiring bertambahnya jarak karena penurunan tegangan sensor mendekati ambang.

Sistem diuji sebanyak 20 kali dalam skenario berbeda (berjalan langsung, belok, zig-zag). Hasilnya:

Tabel 3. Evaluasi Keberhasilan Deteksi Api

Skenario	Percobaan Deteksi Berhasil Persentase (%)		
Lurus	5	5	100%
Belok Kanan	5	4	80%
Belok Kiri	5	5	100%
Gerak Zig-zag	5	3	60%

Rata-rata keberhasilan deteksi: $(5+4+5+3)20 \times 100\% = 85\%$

Beberapa kendala yang ditemukan selama pengujian adalah sensor yang terlalu sensitif terhadap cahaya luar seperti refleksi lampu, motor DC yang kadang tidak berhenti secara instan karena inersia roda, dan delay dari sensor ke motor yang memerlukan penyesuaian lebih lanjut. Solusi yang diusulkan untuk mengatasi masalah tersebut meliputi penambahan filter inframerah (IR) pada sensor untuk mengurangi gangguan cahaya luar, kalibrasi nilai threshold agar sesuai dengan intensitas lingkungan, serta penambahan sistem pemadam otomatis, seperti kipas mini, untuk mengurangi risiko kebakaran lebih lanjut.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan menguji sistem robot pendeteksi api berbasis sensor flame 5 channel. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi nyala api secara efektif dalam rentang jarak 10–70 cm, dengan efektivitas deteksi mencapai 87,5% dari jarak maksimal pengujian (80 cm). Tegangan sensor menunjukkan penurunan yang konsisten seiring bertambahnya jarak dari sumber api, dari nilai maksimum $\pm 4.9V$ pada 10 cm hingga $\pm 0.5V$ pada 80 cm. Robot memberikan respon otomatis dengan menghentikan pergerakan motor dan menyalakan LED indikator saat tegangan sensor melebihi ambang batas 3.5V. Waktu respon sistem terhadap deteksi api berkisar antara 1.15–1.90 detik tergantung pada jarak

sumber api, dengan rata-rata keberhasilan deteksi sebesar 85% dari berbagai skenario uji coba. Jika dibandingkan dengan Amri (2010), yang menggunakan sensor UVTRON dengan jarak deteksi maksimal 60 cm, sistem kami memberikan jarak efektif lebih jauh hingga 70 cm dengan respon waktu rata-rata 1.5 detik. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan flame sensor 5 channel memberikan keunggulan dalam jangkauan deteksi. Beberapa kendala yang diidentifikasi antara lain sensitivitas sensor terhadap cahaya luar dan keterlambatan penghentian motor akibat inersia. Solusi yang disarankan mencakup penambahan filter inframerah, penyempurnaan kalibrasi ambang deteksi, serta integrasi sistem pemadam otomatis untuk pengembangan lanjutan.

Secara keseluruhan, sistem ini berpotensi untuk diterapkan sebagai robot monitoring kebakaran skala kecil di lingkungan dalam ruangan dan dapat dijadikan dasar untuk pengembangan sistem deteksi-pemadaman api yang lebih canggih dan adaptif.

Daftar Pustaka

Amri, H.S. (2010) 'Sensor UVtron sebagai pendeteksi api pada robot pemadam api berbasis mikrokontroler atmega8535'. Available at: <https://digilib.uns.ac.id/dokumen/15413/Sensor-UVtron-sebagai-pendeteksi-api-pada-robot-pemadam-api-berbasis-mikrokontroler-atmega8535> (Accessed: 18 May 2025).

Arias, L. et al. (2008) 'Photodiode-based sensor for flame sensing and combustion-process monitoring', *Applied Optics*, 47(29), pp. 5541–5549. Available at: <https://doi.org/10.1364/AO.47.005541>.

Cahyadi, H.D., Mirza, Y. and Laila, E. (2022) 'Rancang Bangun Alat Pendeteksi Kebakaran Menggunakan Flame Sensor dan Sensor Asap Berbasis Arduino', *Jurnal Laporan Akhir Teknik Komputer*, 2(1). Available at: <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/JLATK/article/view/6193> (Accessed: 18 May 2025).

Cheong, P. et al. (2011) 'A ZigBee-Based Wireless Sensor Network Node for Ultraviolet Detection of Flame', *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58(11), pp. 5271–5277. Available at: <https://doi.org/10.1109/TIE.2011.2119455>.

Fatimah, S. and Santoso, S. (2015) 'Robot pendeteksi api', *Jurnal Sains dan Informatika*, 1(1), pp. 71–80.

Gaur, A. et al. (2019) 'Fire Sensing Technologies: A Review', *IEEE Sensors Journal*, 19(9), pp. 3191–3202. Available at: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2019.2894665>.

Hutagalung, D.D. (2018) 'RANCANG BANGUN ALAT PENDETEKSI KEBOCORAN GAS DAN API DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR MQ2 DAN FLAME DETECTOR | JURNAL REKAYASA INFORMASI'. Available at: <https://ejournal.istn.ac.id/index.php/rekayasainformasi/article/view/279> (Accessed: 18 May 2025).

Juwariyah, T. (2018) 'Perancangan Sistem Deteksi Dini Pencegah Kebakaran Rumah Berbasis ESP8266 dan Blynk', *TRANSISTOR Elektro dan Informatika*, 3(2), pp. 120–126. Available at: <https://doi.org/10.30659/ei.3.2.120-126>.

Maspiyanti, F. and Hadiyanti, N. (2017) 'ROBOT PEMADAM API MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC', *Jurnal Teknologi Terpadu*, 3(2). Available at: <https://doi.org/10.54914/jtt.v3i2.77>.

Monica P Suresh (2022) An Arduino Uno Controlled Fire Fighting Robot for Fires in Enclosed Spaces. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9987432> (Accessed: 18 May 2025).

Rosit, H.A. et al. (2023) 'Identifikasi dan Mitigasi Kebakaran Hutan dan Lahan melalui Zonasi Wilayah Rawan Kebakaran dengan Teknologi Geospasial', *Widya Bhumi*, 3(1), pp. 13–30. Available at: <https://doi.org/10.31292/wb.v3i1.53>.

Santoso et al. (2023) 'Design and Build Two Wheel Balancing Robot Simulation with Fuzzy PID', in. *International Conference on Advanced Engineering and Technology*, SCITEPRESS, pp. 124–128. Available at: <https://doi.org/10.5220/0012108300003680>.

Santoso, S. and Mursyid, S. (2017) 'KONTROL PROPORTIONAL INTEGRAL (PI) PADA ROBOT LINE FOLLOWER', *Jurnal Sains dan Informatika*, 1(1), pp. 10–10.

Wijaya, M.A., Ikhsan, R.N. and Sugianto, E. (2022) 'Analisis Perbandingan Kinerja Antara Sensor Api Flame 5 Channel Dengan Sensor Asap MQ2', *Bulletin of Information Technology (BIT)*, 3(4), pp. 231–238. Available at: <https://doi.org/10.47065/bit.v3i4.364>.

Zhang, F. et al. (2012) 'The design and implementation of intelligent inspection robot system using combined flame sensors and infrared sensors', in *2012 International Symposium on Instrumentation & Measurement, Sensor Network and Automation (IMSNA)*. 2012 International Symposium on Instrumentation & Measurement, Sensor Network and Automation (IMSNA), pp. 297–301. Available at: <https://doi.org/10.1109/MSNA.2012.6324572>.

Zhang, Z. and Li, J. (2023) 'A Review of Artificial Intelligence in Embedded Systems', *Micromachines*, 14(5), p. 897. Available at: <https://doi.org/10.3390/mi14050897>.