

Rancang Bangun Prototype Sistem Deteksi Kebakaran Menggunakan Board EY1703 Berbasis Mikrokontroler STC15F2K32S2

Design and Development of Fire Detection System Using STC15F2K32S2 Microcontroller

Dwi Abrar Fatrunadi¹, Dwi Purwanti²

^{1,2} Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang; email: fatrunadi@students.unnes.ac.id

[Dikirimkan: 5 Desember 2025, Direvisi: 21 Mei 2025, Diterima: 26 Mei 2025]

Corresponding Author: Dwi Abrar Fatrunadi

INTISARI — Kebakaran merupakan bencana yang sering terjadi di Indonesia, dengan penyebab utama korsleting listrik dan ledakan kompor gas, sehingga diperlukan sistem deteksi dini yang efektif. Meski teknologi deteksi kebakaran telah berkembang, penelitian terkait kecepatan baca mikrokontroler STC15F2K32S2 masih terbatas. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kecepatan baca mikrokontroler STC15F2K32S2 dalam sistem deteksi kebakaran berbasis board EY1703, menggunakan sensor api dan gas sebagai input serta buzzer dan LED running sebagai output. Pengujian dilakukan pada jarak 5 cm hingga 20 cm dengan sudut kemiringan sensor 0°, 5°, dan 10°. Hasilnya, pada sudut 0°, waktu baca sensor api meningkat dari 26,2 ms (5 cm) menjadi 38,4 ms (20 cm), buzzer dari 44 ms menjadi 61,8 ms, dan LED running dari 48 ms (10 cm) ke 29,2 ms (20 cm). Pada sudut 5°, waktu baca sensor api dan buzzer naik dari 45,6 ms menjadi 55,6 ms dan dari 49 ms menjadi 63,8 ms, sedangkan LED running stabil antara 43,6–52,8 ms. Pada sudut 10°, waktu baca sensor api meningkat dari 52,8 ms ke 62,2 ms, buzzer stabil di 48,2–56 ms, dan LED running dari 32,8 ms ke 61,2 ms. Untuk deteksi gas, rata-rata waktu respon karbon monoksida, metana, LPG, dan hidrogen adalah 53,4 ms, 47 ms, 47,6 ms, dan 56,6 ms. Penelitian selanjutnya disarankan mengeksplorasi penggunaan sensor tambahan atau integrasi dengan IoT untuk meningkatkan kecepatan dan jangkauan deteksi.

KATA KUNCI — Board EY1703, Mikrokontroler STC15F2K32S2, Sensor Api, Sensor Gas, Buzzer, LED Running

ABSTRACT — Fires are common disasters in Indonesia, mainly caused by electrical short circuits and gas stove explosions, requiring an effective early detection system. While fire detection technology has improved, research on the reading speed of the STC15F2K32S2 microcontroller remains limited. This study evaluates the reading speed of the STC15F2K32S2 microcontroller in a fire detection system based on the EY1703 board, using flame and gas sensors as inputs and a buzzer and running LEDs as outputs. Tests were performed at distances from 5 cm to 20 cm with sensor tilt angles of 0°, 5°, and 10°. At a 0° tilt angle, the flame sensor reading time increased from 26.2 ms (5 cm) to 38.4 ms (20 cm), the buzzer from 44 ms to 61.8 ms, and the running LEDs from 48 ms (10 cm) to 29.2 ms (20 cm). At a 5° tilt angle, the flame sensor and buzzer reading times increased from 45.6 ms to 55.6 ms and from 49 ms to 63.8 ms, respectively, while the running LEDs remained stable at 43.6–52.8 ms. At a 10° tilt angle, the flame sensor time increased from 52.8 ms to 62.2 ms, the buzzer stayed between 48.2–56 ms, and the running LEDs increased from 32.8 ms to 61.2 ms. For gas detection, the average response times for CO, methane, LPG, and hydrogen were 53.4 ms, 47 ms, 47.6 ms, and 56.6 ms, respectively. Future research should explore additional sensors or IoT integration to improve detection speed and range.

KEYWORD — Board EY1703, STC15F2K32S2 Microcontroller, Flame Sensor, Gas Sensor, Buzzer, Running LED

I. PENDAHULUAN

Setiap tahunnya, ancaman kebakaran adalah bencana yang dapat menyebabkan banyak kerugian bagi masyarakat, termasuk kerugian harta benda dan bahkan nyawa manusia [1]. Di Indonesia, kebakaran seringkali terjadi di berbagai lingkungan, mulai dari pemukiman padat hingga gedung perkantoran dan industri. Kasus kebakaran adalah salah satu jenis kejadian yang perlu perhatian khusus dan memerlukan langkah-langkah pencegahan untuk mengurangi risiko atau bahkan mencegah terjadinya kebakaran [2].

Beberapa faktor dapat menyebabkan terjadinya kebakaran, seperti gangguan pendek pada instalasi listrik, ledakan kompor gas, penyulut rokok, dan lain-lain [3]. Ini merupakan sejumlah potensi pemicu kebakaran yang penting untuk diwaspadai dan ditangani dengan serius, mengingat dampak serius yang dapat ditimbulkannya bagi keamanan dan keberlangsungan hidup masyarakat serta properti. Perkembangan yang cepat dalam pembangunan menyebabkan meningkatnya potensi terjadinya kebakaran [4].

Seiring berkembangnya zaman, tidak hanya perkembangan dalam pembangunan saja yang berkembang pesat, teknologi juga turut serta mengalami perkembangan pesat. Termasuk dalam segi aspek keselamatan kecelakaan, dalam hal ini merupakan kecelakaan kebakaran. Salah satu bentuk penanganan kebakaran adalah deteksi dini kebakaran [5]. Potensi teknologi yang dapat

dimanfaatkan adalah kecerdasan mikrokontroler. Mikrokontroler yang memiliki potensi adalah STC15F2K32S2 yang terdapat pada board EY1703.

Hongli melakukan identifikasi terhadap beberapa jenis mikrokontroler, diantaranya STC mikrokontroler, mikrokontroler 51, PIC mikrokontroler, dan AVR mikrokontroler. STC mikrokontroler dipilih olehnya karena fitur lengkap, kinerja yang baik, dan biaya yang rendah [6]. *Chip* kontrol ini memiliki efisiensi pemrosesan informasi yang tinggi, keandalan yang kuat, konsumsi daya rendah, dan anti interferensi yang kuat [7]. Bukti keandalan yang baik juga ditunjukkan pada penelitian yang dilakukan oleh Ding dan Jia yang memanfaatkan mikrokontroler STC15F2K32S2 sebagai mikrokontroler utama. Dimana, dijelaskan alasan menggunakan mikrokontroler ini terbagi menjadi empat, salah satunya adalah mengurangi konsumsi daya dan keandalan yang baik [8]. Berkat keandalannya, mikrokontroler tersebut banyak digunakan dalam bidang industri [9].

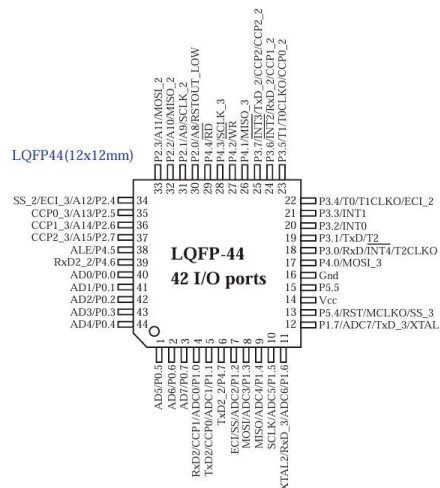
Di sisi lain, penelitian terdahulu terkait sistem deteksi kebakaran menggunakan mikrokontroler sebagian besar berfokus pada aspek integrasi sensor dan mekanisme peringatan. Namun, sedikit perhatian diberikan pada aspek kecepatan respon mikrokontroler dalam memproses data dari sensor, terutama pada mikrokontroler STC15F2K32S2.

Berangkat dari permasalahan tersebut, penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai uji performa kecepatan baca dari mikrokontroler ST15F2K32S2. Oleh karena itu, penelitian ini berusaha untuk mengisi celah tersebut dengan mengeksplorasi kecepatan baca STC15F2K32S2 dalam memproses data sensor untuk meningkatkan efektivitas sistem deteksi kebakaran.

II. LANDASAN TEORI

A. STC15F2K32S2

STC15F2K32S2 merupakan sebuah mikrokontroler 8-bit yang dikembangkan oleh STC Microcontroller. STC15F2K32S2 masuk kedalam keluarga mikrokontroler yang menggunakan arsitektur 8051 [10]. Keluarga mikrokontroler 8051 sangat populer dan telah digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi selama bertahun-tahun. Mikrokontroler ini dikenal karena arsitekturnya yang sederhana namun efisien, serta memiliki banyak fitur yang berguna untuk berbagai aplikasi elektronik [11]. Mikrokontroler ini sering digunakan dalam berbagai aplikasi yang membutuhkan kontrol digital, seperti sistem kendali, otomasi industri, dan perangkat elektronik konsumen.



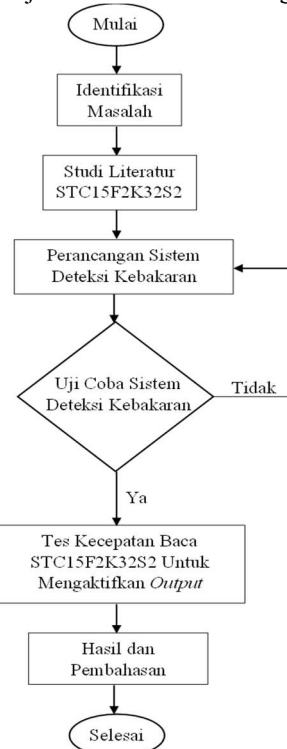
Gambar 1. Pin STC15F2K32S2

B. KEIL μ VISION

Berdasarkan *website ARM Developer* selaku pengembang, Keil μ Vision adalah platform pengembangan perangkat lunak berbasis jendela yang menggabungkan editor yang kuat dan modern dengan manajer proyek dan alat "make facility" [12]. Ini mengintegrasikan semua alat yang diperlukan untuk mengembangkan aplikasi *embedded* termasuk *compiler C/C++*, *assembler* makro, *linker/locator*, dan generator file HEX. Keil μ Vision adalah sebuah *Integrated Development Environment (IDE)* yang digunakan untuk mengembangkan dan memprogram mikrokontroler ARM. IDE ini menyediakan berbagai fitur seperti editor kode, *compiler*, *debugger*, dan simulator yang memudahkan pengembangan perangkat lunak untuk mikrokontroler ARM [13].

dikumpulkan berdasarkan jarak baca, sudut kemiringan sensor api, dan jenis gas pada sensor MQ2. Hal ini penting karena kebakaran membutuhkan respon cepat dan tanggap.

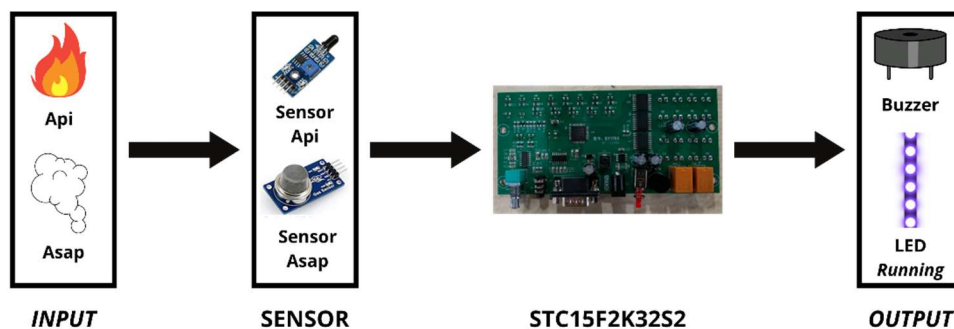
Hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel untuk menganalisis performa mikrokontroler STC15F2K32S2 dalam memproses *input* dan mengaktifkan *output* pada berbagai kondisi jarak dan sudut kemiringan sensor.



Gambar 5. Flowchart Alur Penelitian

B. DIAGRAM BLOK

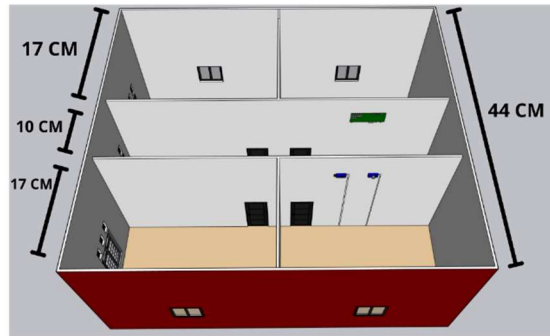
Sistem pendeteksi kebakaran ini mendapatkan masukan dari sensor api (SEN-0004) dan sensor asap (MQ2). Ketika kedua sensor tersebut mendeteksi adanya asap dan api atau salah satu dari keduanya, maka akan mengirimkan sinyal ke mikrokontroler STC15F2K32S2. Kemudian dengan adanya sinyal tersebut, mikrokontroler STC15F2K32S2 memberikan perintah agar buzzer bunyi dan LED *running* menyala. Informasi buzzer yang berbunyi ini akan memberikan informasi dan perhatian terhadap orang-orang sekitar bahwa adanya indikasi terjadinya kebakaran. Selain itu, LED *running* juga akan menyala jika mendeteksi adanya api dan atau asap. LED *running* ini berguna untuk memberikan visualisasi jalur evakuasi menuju jalan keluar. Hal tersebut tentu saja akan membuat orang-orang sekitar bisa bersiap untuk cepat melakukan evakuasi jika terjadi kebakaran.



Gambar 6. Diagram Blok Sistem Deteksi Kebakaran

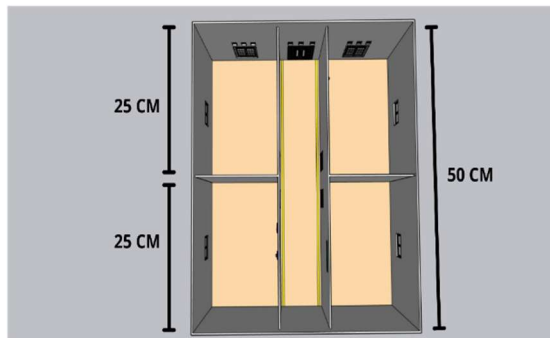
C. DESAIN PENERAPAN PROTOTYPE SISTEM DETEKSI KEBAKARAN

Pada bagian ini, dibuat ilustrasi desain penerapan alat yang sudah dibuat, yang akan diletakkan pada sebuah ruangan di suatu rumah. Desain ini bertujuan untuk memberikan gambaran visual mengenai penempatan komponen-komponen utama sistem deteksi kebakaran, diantaranya sensor api, sensor asap, buzzer, dan LED *running*, serta bagaimana sistem ini berfungsi secara keseluruhan dalam mendeteksi potensi kebakaran dan memberikan peringatan dini.



Gambar 7. Desain Ilustrasi Tampak Samping

Dapat dilihat pada Gambar 7 mengenai penempatan sensor dan mikrokontroler STC15F2K32S2. Sensor api dan sensor asap diletakkan pada sudut atas ruangan agar memudahkan untuk mendeteksi adanya api dan atau asap. Board EY1703 yang berbasis mikrokontroler STC15F2K32S2 diletakkan pada lorong jalan ruangan untuk memudahkan jalur konfigurasi antara sensor api dan sensor asap dengan LED *running*.



Gambar 8. Desain Ilustrasi Tampak Atas

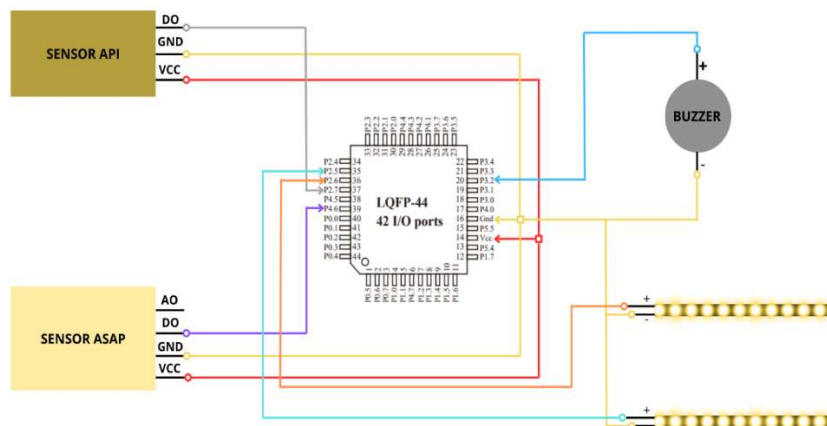
Pada Gambar 8 terdapat jalur memanjang berwarna hijau dibagian lantai merupakan LED *running* yang akan diterapkan sebagai visualisasi jalur evakuasi yang mengarah keluar ruangan. Pemasangan LED *running* di bagian lantai memiliki alasan tersendiri karena asap mengumpul ke bagian atas, sehingga diupayakan untuk merangkak dan bernapas pendek [20]. Oleh karena itu, LED *running* akan dipasang dibagian lantai sebagai visualisasi jalur evakuasi, agar memudahkan pengguna untuk mengetahui jalan keluar dengan cepat.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. PERANCANGAN SISTEM DETEKSI KEBAKARAN

1) WIRING DIAGRAM SISTEM DETEKSI KEBAKARAN

Diagram ini menggambarkan hubungan antara komponen-komponen utama dalam sistem, diantaranya mikrokontroler STC15F2K32S2, sensor api, sensor MQ2, buzzer (alarm), serta LED *running* (jalur evakuasi). *Wiring* diagram ini berperan penting dalam memastikan bahwa setiap komponen dapat berfungsi secara optimal sesuai dengan fungsinya masing-masing dalam mendeteksi kebakaran dan memberikan respon melalui alarm dan indikasi visual berupa jalur evakuasi. Penjelasan detail mengenai komponen dan koneksinya dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Wiring Diagram Sistem Deteksi Kebakaran

Gambar 9 menunjukkan sistem yang terdiri dari sensor api dan sensor asap sebagai penerima *input*, serta buzzer dan LED *running* sebagai *output*. Sensor api terhubung ke pin P2⁷ mikrokontroler STC15F2K32S2 untuk mengirim informasi, dengan pin VCC dan GND terhubung sesuai spesifikasi. Sensor asap menggunakan pin P4⁶ untuk mengirimkan data *Digital Output* (DO) ke

mikrokontroler. Sementara itu, buzzer dan LED *running* memiliki dua pin, yaitu katoda dan anoda. Katoda buzzer terhubung ke pin P3², sedangkan LED *running* terhubung ke pin P2⁶ dan P2⁵. Semua komponen dirancang sesuai dengan pin yang telah ditentukan agar sistem dapat berfungsi dengan baik. Untuk lebih singkatnya, pin masing-masing komponen dapat dilihat pada Tabel I, Tabel II, Tabel III, dan Tabel IV.

TABEL I
 PIN SENSOR API

Sensor Api	STC15F2K32S2
DO	P2 ⁷
VCC	VCC
GND	GND

TABEL II
 PIN SENSOR ASAP

Sensor Asap	STC15F2K32S2
DO	P4 ⁶
VCC	VCC
GND	GND

TABEL III
 PIN BUZZER

Buzzer	STC15F2K32S2
Katoda	P3 ²
Anoda	GND

TABEL IV
 PIN LED *RUNNING*

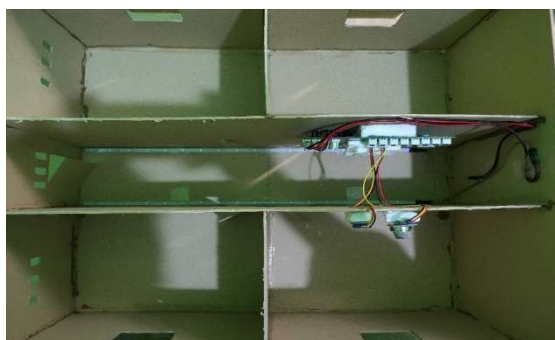
LED <i>Running</i>	STC15F2K32S2
Katoda	P2 ⁶ dan P2 ⁵
Anoda	GND

2) IMPLEMENTASI PROTOTYPE SISTEM DETEKSI KEBAKARAN

Peletakkan sensor api, sensor asap, board EY1703 yang berbasis mikrokontroler STC15F2K32S2, dan LED *running* telah disesuaikan dengan desain penerapan sistem deteksi kebakaran yang telah dibuat pada Metodologi Penelitian. Lebih detailnya dapat dilihat pada Gambar 10, Gambar 11, Gambar 12, Gambar 13, dan Gambar 14.



Gambar 10. Penerapan Tampak Samping



Gambar 11. Penerapan Tampak Atas

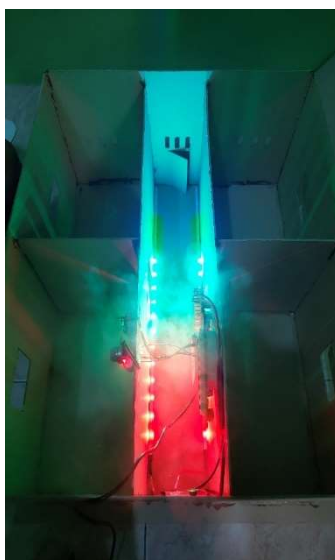
Peletakkan sensor api dan sensor asap di atas bertujuan untuk memudahkan sensor agar dapat dengan mudah mendeteksi adanya indikasi api dan atau asap dari bawah. Selanjutnya, peletakkan LED *running* dibawah, tepatnya di jalan bertujuan untuk memudahkan orang-orang untuk melakukan evakuasi secara cepat. Lebih detailnya, dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 12. Penerapan Tampak Samping Kondisi Menyala



Gambar 13. Penerapan Tampak Atas Kondisi Uji Coba Sensor Api



Gambar 14. Penerapan Tampak Atas Kondisi Uji Coba Sensor Asap

Pengujian perangkat juga perlu dilakukan untuk mengetahui keberhasilan suatu sistem yang telah dibuat. Dapat dilihat pada Gambar 12, Gambar 13, dan Gambar 14, dilakukan pengujian perangkat agar mengetahui keberhasilan sistem deteksi kebakaran menggunakan *board* EY1703 yang berbasis mikrokontroler STC15F2K32S2. Pertama dilakukan pengujian sensor api, dan sistem deteksi berjalan dengan baik ketika sensor api mendeteksi adanya api, maka LED *running* akan menyala sebagai jalur evakuasi. Begitupun dengan sensor asap yang terdapat pada Gambar 14, sistem berjalan dengan baik ketika mendeteksi adanya asap, maka LED *running* menyala sebagai jalur evakuasi.

B. UJI COBA KECEPATAN BACA MIKROKONTROLER STC15F2K32S2

Penelitian ini menguji performa kecepatan baca *board* EY1703 berbasis mikrokontroler STC15F2K32S2 dalam menanggapi *input* dari sensor api dan asap untuk mengaktifkan *output* berupa buzzer dan LED *running*. Uji coba dilakukan lima kali pada setiap

pengukuran, dengan pengambilan nilai rata-rata. Untuk sensor api, pengujian mencakup variasi jarak (5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm) dan sudut kemiringan (0°, 5°, 10°), sementara sensor asap diuji dengan variabel asap karbon monoksida (CO), metana (CH₄), LPG, dan hidrogen (H₂). Pengambilan data dilakukan secara terpisah antara sensor api dan asap, menghasilkan waktu respon dalam *millisecond* (ms). *Timer* pada mikrokontroler akan mereset setelah *output* berjalan untuk memastikan pembacaan waktu yang akurat.

1) DATA KECEPATAN BACA DALAM SUDUT 0 DERAJAT

Uji coba pertama dimulai dari jarak terdekat terlebih dahulu, yaitu pada jarak 5 cm, kemudian disusul jarak 10 cm, lalu jarak 15 cm, dan yang terakhir jarak 20 cm. Uji coba dilakukan sebanyak 5 kali pembacaan, dan diambil rata-ratanya agar data bisa lebih valid.

TABEL V
DATA KECEPATAN BACA SENSOR API DALAM SUDUT 0 DERAJAT

No.	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
1	26 ms	52 ms	38 ms	15 ms
2	36 ms	22 ms	46 ms	35 ms
3	20 ms	30 ms	25 ms	72 ms
4	22 ms	31 ms	42 ms	5 ms
5	27 ms	22 ms	4 ms	65 ms
Rata-Rata	26,2 ms	31,4 ms	31 ms	38,4 ms

Tabel V menunjukkan waktu respon sensor api pada jarak 5 cm hingga 20 cm dalam lima kali percobaan, dengan rata-rata waktu respon meningkat seiring bertambahnya jarak. Pada jarak 5 cm, waktu respon rata-rata tercepat adalah 26,2 ms, menunjukkan deteksi yang cepat dan konsisten. Pada jarak 10 cm dan 15 cm, rata-rata waktu respon masing-masing adalah 31,4 ms dan 31 ms, dengan variasi yang lebih lebar pada jarak 15 cm, menunjukkan konsistensi yang menurun. Pada jarak 20 cm, waktu respon rata-rata tertinggi adalah 38,4 ms, dengan variasi signifikan, mengindikasikan kesulitan sensor dalam mendeteksi api secara akurat pada jarak yang lebih jauh. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor api bekerja lebih optimal pada jarak dekat.

TABEL VI
DATA KECEPATAN BACA RESPON BUZZER DALAM SUDUT 0 DERAJAT

No.	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
1	44 ms	54 ms	70 ms	97 ms
2	34 ms	14 ms	34 ms	91 ms
3	64 ms	27 ms	77 ms	20 ms
4	47 ms	29 ms	90 ms	48 ms
5	31 ms	60 ms	82 ms	53 ms
Rata-Rata	44 ms	36,8 ms	70,6 ms	61,8 ms

Tabel VI menunjukkan waktu respon buzzer terhadap sinyal dari sensor api pada jarak 5 cm hingga 20 cm. Pada jarak 5 cm, waktu respon rata-rata adalah 44 ms, menunjukkan respon yang cepat. Pada 10 cm, rata-rata waktu respon sedikit lebih rendah, yaitu 36,8 ms, menandakan sistem masih bekerja baik. Namun, pada 15 cm, rata-rata waktu respon meningkat signifikan menjadi 70,6 ms, menunjukkan penurunan kinerja. Pada jarak 20 cm, rata-rata waktu respon adalah 61,8 ms, dengan variasi yang besar, menunjukkan ketidakkonsistenan. Secara keseluruhan, waktu respon buzzer cenderung meningkat dengan bertambahnya jarak, meskipun terdapat fluktuasi pada jarak yang lebih jauh.

TABEL VII
DATA KECEPATAN BACA RESPON LED *RUNNING* DALAM SUDUT 0 DERAJAT

No.	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
1	19 ms	49 ms	15 ms	12 ms
2	9 ms	45 ms	9 ms	32 ms
3	39 ms	98 ms	48 ms	51 ms
4	77 ms	13 ms	65 ms	23 ms
5	6 ms	35 ms	53 ms	28 ms
Rata-Rata	30 ms	48 ms	38 ms	29,2 ms

Tabel VII menunjukkan waktu respon LED *running* sebagai jalur evakuasi pada jarak 5 cm hingga 20 cm. Pada jarak 5 cm, rata-rata waktu respon cepat, yaitu 30 ms. Pada jarak 10 cm, rata-rata waktu respon meningkat menjadi 48 ms, dengan variasi yang lebih besar akibat sinyal yang kurang stabil. Pada jarak 15 cm, rata-rata waktu respon adalah 38 ms, sedikit lebih cepat dibandingkan 10 cm, namun tetap menunjukkan variasi yang lebar. Pada jarak 20 cm, rata-rata waktu respon kembali lebih rendah, yaitu 29,2 ms,

dengan konsistensi yang lebih baik. Secara keseluruhan, waktu respon LED *running* tidak menunjukkan pola linear terhadap jarak, dengan rata-rata respon tertinggi pada jarak 10 cm (48 ms) dan terendah pada 5 cm (30 ms), mengindikasikan faktor lain seperti fluktuasi sinyal memengaruhi hasil.

2) DATA KECEPATAN BACA DALAM SUDUT 5 DERAJAT

Sama dengan uji coba pertama, uji coba kedua dimulai dari jarak terdekat terlebih dahulu, yaitu pada jarak 5 cm, kemudian disusul jarak 10 cm, lalu jarak 15 cm, dan yang terakhir jarak 20 cm. Uji coba dilakukan sebanyak 5 kali pembacaan, dan diambil rata-ratanya agar data bisa lebih valid.

TABEL VIII
DATA KECEPATAN BACA SENSOR API DALAM SUDUT 5 DERAJAT

No.	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
1	61 ms	70 ms	49 ms	75 ms
2	63 ms	39 ms	88 ms	51 ms
3	57 ms	22 ms	19 ms	40 ms
4	24 ms	85 ms	26 ms	65 ms
5	23 ms	50 ms	90 ms	47 ms
Rata-Rata	45,6 ms	53,2 ms	54,4 ms	55,6 ms

Tabel VIII menunjukkan waktu respon sensor api pada sudut kemiringan 5 derajat untuk jarak 5 cm hingga 20 cm. Pada jarak 5 cm, rata-rata waktu respon adalah 45,6 ms dengan variasi besar akibat kemiringan yang memengaruhi sensitivitas. Pada jarak 10 cm dan 15 cm, rata-rata waktu respon meningkat menjadi 53,2 ms dan 54,4 ms, dengan fluktuasi yang signifikan akibat jarak dan sudut kemiringan. Pada jarak 20 cm, rata-rata waktu respon mencapai 55,6 ms, menjadi yang paling lambat, meskipun perbedaannya tidak signifikan dibandingkan jarak 10 cm dan 15 cm. Secara keseluruhan, sudut kemiringan 5 derajat memperlambat waktu respon dibandingkan sudut 0 derajat, namun sensor tetap mampu mendeteksi api dalam rata-rata waktu di bawah 60 ms. Variasi hasil ini menekankan pentingnya mempertimbangkan kemiringan dalam desain dan penempatan sensor.

TABEL IX
DATA KECEPATAN BACA RESPON BUZZER DALAM SUDUT 5 DERAJAT

No.	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
1	38 ms	87 ms	82 ms	91 ms
2	36 ms	31 ms	14 ms	99 ms
3	74 ms	14 ms	66 ms	2 ms
4	67 ms	42 ms	97 ms	93 ms
5	30 ms	91 ms	24 ms	34 ms
Rata-Rata	49 ms	53 ms	56,6 ms	63,8 ms

Tabel IX menunjukkan waktu respon buzzer pada berbagai jarak dengan sensor api dimiringkan 5 derajat. Pada jarak 5 cm, rata-rata waktu respon adalah 49 ms, dengan variasi kecil yang menunjukkan respon cukup cepat. Pada jarak 10 cm, rata-rata meningkat menjadi 53 ms, dengan variasi lebih besar akibat pengaruh kemiringan dan jarak. Jarak 15 cm memiliki rata-rata waktu respon 56,6 ms, sedikit lebih lama dengan variasi yang signifikan, sedangkan pada jarak 20 cm, waktu respon rata-rata menjadi yang paling lambat, yaitu 63,8 ms, dengan rentang waktu respon yang sangat bervariasi. Secara keseluruhan, waktu respon buzzer cenderung meningkat seiring bertambahnya jarak, terutama pada jarak 20 cm, dengan sudut kemiringan 5 derajat memberikan efek pada kestabilan respon. Hal ini menunjukkan pentingnya mempertimbangkan jarak dan kemiringan sensor dalam desain sistem deteksi kebakaran untuk memastikan respon yang optimal.

TABEL X
DATA KECEPATAN BACA RESPON LED *RUNNING* DALAM SUDUT 5 DERAJAT

No.	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
1	69 ms	67 ms	57 ms	72 ms
2	11 ms	32 ms	85 ms	70 ms
3	55 ms	45 ms	16 ms	37 ms
4	62 ms	73 ms	63 ms	68 ms
5	21 ms	47 ms	32 ms	9 ms
Rata-Rata	43,6 ms	52,8 ms	50,6 ms	51,2 ms

Tabel X menunjukkan waktu respon LED *running* pada berbagai jarak dengan sudut kemiringan sensor 5 derajat. Pada jarak 5 cm, rata-rata waktu respon adalah 43,6 ms, menunjukkan efisiensi aktivasi LED meskipun ada variasi antar percobaan. Jarak 10 cm memiliki rata-rata waktu respon 52,8 ms, sedikit meningkat dibandingkan 5 cm, sementara jarak 15 cm dan 20 cm masing-masing

mencatat rata-rata 50,6 ms dan 51,2 ms, menunjukkan kestabilan waktu respon meskipun jarak bertambah. Secara keseluruhan, waktu respon LED cukup stabil di berbagai jarak, dengan rata-rata berkisar antara 43,6 ms hingga 52,8 ms. Meskipun variasi antar percobaan menunjukkan pengaruh kemiringan dan jarak terhadap kestabilan deteksi, LED tetap dapat diaktifkan dengan cepat dan konsisten dalam sistem deteksi kebakaran.

3) DATA KECEPATAN BACA DALAM SUDUT 10 DERAJAT

Uji coba ketiga dimulai dari jarak terdekat terlebih dahulu, yaitu pada jarak 5 cm, kemudian disusul jarak 10 cm, lalu jarak 15 cm, dan yang terakhir jarak 20 cm. Uji coba dilakukan sebanyak lima kali pembacaan, dan diambil rata-ratanya agar data bisa lebih valid.

TABEL XI
DATA KECEPATAN BACA SENSOR API DALAM SUDUT 10 DERAJAT

No.	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
1	67 ms	57 ms	40 ms	49 ms
2	21 ms	23 ms	62 ms	45 ms
3	54 ms	63 ms	47 ms	66 ms
4	89 ms	25 ms	41 ms	69 ms
5	33 ms	65 ms	54 ms	82 ms
Rata-Rata	52,8 ms	46,6 ms	48,8 ms	62,2 ms

Tabel XI menunjukkan waktu respon sensor api pada sudut kemiringan 10 derajat untuk berbagai jarak. Pada jarak 5 cm, rata-rata waktu respon adalah 52,8 ms dengan fluktuasi yang cukup besar, mencerminkan sensitivitas sensor terhadap posisi api. Jarak 10 cm mencatat waktu respon rata-rata 46,6 ms, lebih cepat dan stabil dibandingkan 5 cm. Pada jarak 15 cm, rata-rata waktu respon meningkat menjadi 48,8 ms, sedangkan jarak 20 cm mencatat waktu respon tertinggi, yaitu 62,2 ms, menunjukkan pengaruh jarak terhadap penurunan intensitas sinyal. Secara keseluruhan, waktu respon cenderung meningkat seiring bertambahnya jarak, dan sudut kemiringan 10 derajat terlihat memengaruhi sensitivitas sensor, terutama pada jarak yang lebih jauh.

TABEL XII
DATA KECEPATAN BACA RESPON BUZZER DALAM SUDUT 10 DERAJAT

No.	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
1	69 ms	90 ms	46 ms	42 ms
2	7 ms	31 ms	45 ms	38 ms
3	67 ms	84 ms	48 ms	94 ms
4	32 ms	36 ms	65 ms	67 ms
5	66 ms	42 ms	68 ms	39 ms
Rata-Rata	48,2 ms	56,6 ms	54,4 ms	56 ms

Tabel XII menunjukkan waktu respon buzzer pada sudut kemiringan 10 derajat untuk berbagai jarak. Pada jarak 5 cm, rata-rata waktu respon adalah 48,2 ms dengan variasi yang cukup besar, sedangkan jarak 10 cm mencatat rata-rata 56,6 ms, menunjukkan peningkatan waktu respon pada jarak menengah. Pada jarak 15 cm, rata-rata waktu respon sedikit menurun menjadi 54,4 ms, menunjukkan konsistensi deteksi, sementara jarak 20 cm mencatat rata-rata 56 ms dengan variasi yang lebih besar, menunjukkan deteksi lebih lambat pada beberapa percobaan. Secara keseluruhan, rata-rata waktu respon cenderung meningkat seiring bertambahnya jarak, dengan sudut kemiringan 10 derajat memengaruhi responsivitas, terutama pada jarak yang lebih jauh.

TABEL XIII
DATA KECEPATAN BACA RESPON LED *RUNNING* DALAM SUDUT 10 DERAJAT

No.	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
1	0 ms	65 ms	47 ms	73 ms
2	18 ms	62 ms	64 ms	25 ms
3	98 ms	60 ms	44 ms	69 ms
4	7 ms	11 ms	61 ms	64 ms
5	41 ms	73 ms	63 ms	75 ms
Rata-Rata	32,8 ms	54,2 ms	55,8 ms	61,2 ms

Tabel XIII menunjukkan waktu respon LED *running* pada sudut kemiringan 10 derajat untuk berbagai jarak setelah deteksi api. Pada jarak 5 cm, rata-rata waktu respon adalah 32,8 ms dengan variasi besar (0 – 98 ms), sedangkan pada jarak 10 cm meningkat menjadi 54,2 ms dengan variasi yang lebih stabil. Jarak 15 cm mencatat rata-rata 55,8 ms dengan variasi kecil, menunjukkan konsistensi deteksi, sementara jarak 20 cm mencatat rata-rata 61,2 ms dengan variasi lebih besar (25 – 75 ms), menunjukkan waktu

respon lebih lambat pada jarak jauh. Secara keseluruhan, rata-rata waktu respon LED meningkat seiring bertambahnya jarak, meskipun sudut kemiringan 10 derajat tidak terlalu memengaruhi stabilitas respon, kecuali pada jarak dekat yang menunjukkan variasi signifikan.

4) DATA KECEPATAN BACA DALAM MENDETEKSI KARBON MONOKSIDA (CO)

Uji coba pertama kecepatan baca mikrokontroler STC15F2K32S2 dari sensor asap terhadap buzzer dan LED *running*, yaitu dalam mendeteksi karbon monoksida. Percobaan dilakukan sebanyak lima kali agar data lebih valid. Data kecepatan baca mikrokontroler STC15F2K32S2 dari sensor asap terhadap buzzer dan LED *running* dalam mendeteksi karbon monoksida dapat dilihat pada Tabel XIV.

TABEL XIV
DATA KECEPATAN BACA DALAM MENDETEKSI KARBON MONOKSIDA (CO)

No.	Sensor Asap	Buzzer	LED Running
1	71 ms	17 ms	38 ms
2	40 ms	15 ms	24 ms
3	67 ms	55 ms	62 ms
4	59 ms	68 ms	70 ms
5	30 ms	44 ms	51 ms
Rata-Rata	53,4 ms	39,8 ms	49 ms

Sensor asap memiliki waktu rata-rata deteksi karbon monoksida (CO) sebesar 53,4 ms, dengan variasi antara 30 ms hingga 71 ms, yang dipengaruhi oleh fluktuasi konsentrasi gas dan sensitivitas sensor. Buzzer, yang memberikan alarm peringatan, membutuhkan waktu rata-rata 39,8 ms untuk diaktifkan, dengan rentang antara 15 ms hingga 68 ms, dipengaruhi oleh pengolahan sinyal mikrokontroler. LED *running*, sebagai panduan jalur evakuasi, memerlukan waktu rata-rata 49 ms untuk memulai pola, dengan variasi antara 24 ms hingga 70 ms, yang terkait dengan kompleksitas pengendalian pola LED oleh mikrokontroler. Secara keseluruhan, waktu respon sistem cukup cepat, memungkinkan deteksi dan peringatan yang efektif dalam situasi darurat.

5) DATA KECEPATAN BACA DALAM MENDETEKSI METANA (CH₄)

Uji coba kedua kecepatan baca mikrokontroler STC15F2K32S2 dari sensor asap terhadap buzzer dan LED *running*, yaitu dalam mendeteksi metana. Percobaan dilakukan sebanyak lima kali agar data lebih valid. Data kecepatan baca mikrokontroler STC15F2K32S2 dari sensor asap terhadap buzzer dan LED *running* dalam mendeteksi metana dapat dilihat pada Tabel XV.

TABEL XV
DATA KECEPATAN BACA DALAM MENDETEKSI METANA (CH₄)

No.	Sensor Asap	Buzzer	LED Running
1	76 ms	25 ms	28 ms
2	32 ms	11 ms	16 ms
3	47 ms	45 ms	50 ms
4	38 ms	38 ms	41 ms
5	42 ms	64 ms	69 ms
Rata-Rata	47 ms	36,6 ms	40,8 ms

Sensor asap mendeteksi gas metana (CH₄) dengan waktu rata-rata 47 ms, dengan rentang waktu antara 32 ms hingga 76 ms, yang menunjukkan variasi dipengaruhi oleh fluktuasi konsentrasi gas dan faktor lingkungan. Mikrokontroler STC15F2K32S2 memproses data dengan efisien untuk deteksi yang cepat. Waktu rata-rata untuk mengaktifkan buzzer setelah deteksi gas metana adalah 36,6 ms, dengan rentang antara 11 ms hingga 64 ms, menunjukkan respons cepat meskipun ada sedikit variasi akibat pengolahan sinyal. Waktu rata-rata untuk mengaktifkan pola LED *running* adalah 40,8 ms, dengan variasi antara 16 ms hingga 69 ms, yang dipengaruhi oleh pengendalian sinyal ke beberapa LED. Secara keseluruhan, sistem ini responsif dalam memberikan peringatan suara dan arahan visual pada situasi darurat.

6) DATA KECEPATAN BACA DALAM MENDETEKSI GAS LPG

Uji coba ketiga kecepatan baca mikrokontroler STC15F2K32S2 dari sensor asap terhadap buzzer dan LED *running*, yaitu dalam mendeteksi gas LPG. Percobaan dilakukan sebanyak lima kali agar data lebih valid. Data kecepatan baca mikrokontroler STC15F2K32S2 dari sensor asap terhadap buzzer dan LED *running* dalam mendeteksi gas LPG dapat dilihat pada Tabel XVI.

TABEL XVI
DATA KECEPATAN BACA DALAM MENDETEKSI GAS LPG

No.	Sensor Asap	Buzzer	LED Running
1	66 ms	13 ms	28 ms
2	26 ms	20 ms	32 ms

3	47 ms	43 ms	48 ms
4	67 ms	38 ms	36 ms
5	32 ms	54 ms	41 ms
Rata-Rata	47,6 ms	33,6 ms	37 ms

Sensor asap pada sistem ini mendeteksi gas LPG dengan waktu deteksi yang bervariasi antara 26 ms hingga 67 ms, dengan rata-rata 47,6 ms, menunjukkan respon cepat yang penting untuk aplikasi deteksi kebakaran. Waktu pengaktifan buzzer berkisar antara 13 ms hingga 54 ms, dengan rata-rata 33,6 ms, menunjukkan bahwa buzzer memberikan peringatan suara yang cepat setelah deteksi gas LPG. LED *running* diaktifkan dalam rentang waktu 28 ms hingga 48 ms, dengan rata-rata 37 ms, sedikit lebih lambat dibandingkan buzzer karena pola pengendalian LED yang lebih kompleks. Secara keseluruhan, sistem ini memberikan respon yang cepat baik dalam peringatan suara maupun visual setelah deteksi gas LPG.

7) DATA KECEPATAN BACA DALAM MENDETEKSI HIDROGEN (H₂)

Uji coba keempat kecepatan baca mikrokontroler STC15F2K32S2 dari sensor asap terhadap buzzer dan LED *running*, yaitu dalam mendeteksi hidrogen (H₂). Percobaan dilakukan sebanyak lima kali agar data lebih valid. Data kecepatan baca mikrokontroler STC15F2K32S2 dari sensor asap terhadap buzzer dan LED *running* dalam mendeteksi hidrogen dapat dilihat pada Tabel XVII.

TABEL XVII
DATA KECEPATAN BACA DALAM MENDETEKSI HIDROGEN (H₂)

No.	Sensor Asap	Buzzer	LED Running
1	28 ms	27 ms	31 ms
2	69 ms	36 ms	40 ms
3	43 ms	28 ms	29 ms
4	57 ms	69 ms	70 ms
5	86 ms	44 ms	50 ms
Rata-Rata	56,6 ms	40,8 ms	44 ms

Pada pengujian dengan gas hidrogen (H₂), sensor asap mendeteksi gas dengan waktu deteksi bervariasi antara 28 ms hingga 86 ms, dengan rata-rata 56,6 ms, menunjukkan respon yang cukup cepat meskipun ada variasi antar pengujian. Waktu pengaktifan buzzer berkisar antara 27 ms hingga 69 ms, dengan rata-rata 40,8 ms, menunjukkan peringatan suara yang cepat setelah deteksi gas hidrogen, meskipun ada sedikit perbedaan waktu aktivasi. LED *running* diaktifkan dalam rentang 29 ms hingga 70 ms, dengan rata-rata 44 ms, memberikan indikasi visual yang cukup cepat setelah deteksi gas. Variasi dalam waktu deteksi dan aktivasi *output* dapat dipengaruhi oleh faktor sensor atau kondisi lingkungan.

C. PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh rata-rata waktu deteksi yang berbeda untuk sensor api (SEN-0004) dan sensor asap (MQ2), dengan masing-masing sensor mengukur variabel yang berbeda. Sensor api menunjukkan peningkatan waktu deteksi seiring bertambahnya jarak dan sudut kemiringan, dengan rata-rata waktu pembacaan pada sudut 0° berkisar antara 26,2 ms pada 5 cm hingga 38,4 ms pada 20 cm. Waktu pengaktifan buzzer juga meningkat dari 44 ms pada 5 cm menjadi 61,8 ms pada 20 cm, sementara LED *running* menunjukkan pola berbeda dengan waktu rata-rata tertinggi pada 10 cm (48 ms) dan terendah pada 20 cm (29,2 ms). Pada sudut kemiringan 5° dan 10°, waktu deteksi sensor api dan buzzer meningkat, dengan variasi lebih signifikan pada LED *running*. Waktu respon sensor dan *output* dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan kemiringan sensor.

Pada pengujian deteksi gas lainnya, mikrokontroler STC15F2K32S2 menunjukkan performa yang baik dalam mendeteksi gas karbon monoksida, metana, LPG, dan hidrogen. Rata-rata waktu respon untuk karbon monoksida adalah 53,4 ms untuk sensor asap, 39,8 ms untuk buzzer, dan 49 ms untuk LED *running*, mencerminkan sistem yang responsif untuk peringatan dini. Deteksi gas metana menunjukkan waktu rata-rata pembacaan sensor asap 47 ms, dengan buzzer dan LED *running* masing-masing merespon dalam 36,6 ms dan 40,8 ms. Untuk gas LPG, waktu deteksi sensor asap adalah 47,6 ms, buzzer 33,6 ms, dan LED *running* 37 ms, menunjukkan kecepatan respon yang efektif. Pada gas hidrogen, mikrokontroler mampu mendeteksi dengan waktu deteksi rata-rata 56,6 ms, dan pengaktifan buzzer serta LED berjalan dalam 40,8 ms dan 44 ms, dengan variasi yang disebabkan oleh faktor lingkungan dan kondisi sensor. Secara keseluruhan, sistem ini menunjukkan respon yang cukup cepat dan andal untuk aplikasi deteksi kebakaran dan bahaya gas.

Dari hasil pengujian, penelitian ini memiliki perbedaan dibandingkan dengan penelitian lain. Dimana, penelitian kali ini memanfaatkan mikrokontroler STC15F2K32S2. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, prototype sistem deteksi kebakaran yang menggunakan mikrokontroler STC15F2K32S2 dapat berjalan dengan baik. Hal ini mencerminkan kemampuan mikrokontroler STC15F2K32S2 dalam memproses sinyal dari sensor api (SEN-0004) dan sensor asap (MQ2) dengan baik untuk mengaktifkan buzzer dan LED *running*.

V. KESIMPULAN

Telah dirancang sistem deteksi kebakaran menggunakan board EY1703 yang berbasis mikrokontroler STC15F2K32S2. Hasilnya sistem tersebut berjalan dengan baik dan benar.



Pada sudut kemiringan 0° , waktu pembacaan sensor api meningkat seiring bertambahnya jarak, dengan rata-rata waktu 26,2 ms (5 cm) hingga 38,4 ms (20 cm). Waktu buzzer juga meningkat dari 44 ms menjadi 61,8 ms pada jarak yang lebih jauh, sementara LED running menunjukkan pola berbeda, dengan waktu tertinggi pada 10 cm (48 ms) dan terendah pada 20 cm (29,2 ms). Pada sudut 5° , waktu sensor api dan buzzer meningkat dari 45,6 ms (5 cm) menjadi 55,6 ms (20 cm), dan 49 ms (5 cm) menjadi 63,8 ms (20 cm), sedangkan LED running stabil antara 43,6 ms (5 cm) hingga 52,8 ms (10 cm). Pada sudut 10° , waktu sensor api dari 52,8 ms (5 cm) menjadi 62,2 ms (20 cm), buzzer konsisten antara 48,2 ms (5 cm) hingga 56 ms (20 cm), dan LED running meningkat signifikan dari 32,8 ms (5 cm) menjadi 61,2 ms (20 cm). Pada deteksi gas, rata-rata waktu respon sensor asap, buzzer, dan LED running masing-masing untuk karbon monoksida adalah 53,4 ms, 39,8 ms, dan 49 ms. Untuk metana adalah 47 ms, 36,6 ms, dan 40,8 ms. Untuk LPG adalah 47,6 ms, 33,6 ms, dan 37 ms. Dan untuk hidrogen adalah 56,6 ms, 40,8 ms, dan 44 ms.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Norxel Teknologi Indonesia yang telah memberikan dukungannya berupa diizinkannya meminjamkan mikrokontroler kepada penulis untuk dilakukan penelitian.

REFERENSI

- [1] Y. Darnita, A. Discrise, and R. Toyib, "Prototype Alat Pendeksi Kebakaran Menggunakan Arduino," *J. Inform. Upgris*, vol. 7, no. 1, 2021.
- [2] N. A. Putri, M. Martono, M. Mawardi, K. J. Setyono, and S. Sukoyo, "Analisis Sistem Proteksi Kebakaran Sebagai Upaya Pencegahan Kebakaran," *Bangun Rekaprima*, vol. 5, no. 2, pp. 59-69, 2019.
- [3] T. Taryana, C. Kuntadi, Y. Suprihartini, and R. Sadiatmi, "Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Keandalan Instalasi Listrik," *J. Manaj. Pendidik. DAN ILMU Sos.*, vol. 4, no. 1, pp. 531-537, 2022.
- [4] H. Isyanto, D. Almada, and H. Fahmiansyah, "Perancangan IoT Deteksi Dini Kebakaran dengan Notifikasi Panggilan Telepon dan Share Location," *Jetri J. Ilm. Tek. Elektro*, pp. 1-16, 2020.
- [5] D. Zidifaldi, A. Abdullah, K. Sari, and I. Fakhruzi, "Pemanfaatan iot sebagai sistem deteksi dini kebakaran dengan sensor api dan sensor suhu berbasis arduino," *J. Digit. Teknol. Inf.*, vol. 5, no. 2, p. 66, 2022.
- [6] Hongli, "Design and Implementation of Crossing Rotating LED Display Based on Bluetooth Transmission," *Beijing Inst. Fash. Technol.*, 2019.
- [7] Z. Mu, W. Li, C. Lou, and M. Liu, "Investigation and application of smart door locks based on Bluetooth control technology," in *2020 Asia-Pacific Conference on Image Processing, Electronics and Computers (IPEC)*, IEEE, 2020, pp. 68-72.
- [8] X. Ding and P. Jia, "Corridor Lamp Control System Based on Solar and LED Lighting," in *2015 International Conference on Information Science and Computer Applications (ISCA 2015)*, Atlantis Press, 2015, pp. 8-13.
- [9] Sasmita, "8051 Microcontroller Architecture and Application," *Electronics Post*. [Online]. Available: <https://electronicspost.com/8051-microcontroller-architecture-and-application/>, 2016.
- [10] S. M. Limited, "STC15series MCU Data Sheet." [Online]. Available: <https://www.stmicro.com/datasheet/STC15F2K60S2-en.pdf>
- [11] Y. Dwivedi, S. Singh, S. Nikam, and J. Khot, "STUDY OF MICROCONTROLLER 8051," *IJRAR-International J. Res. Anal. Rev.*, vol. 7, no. 2, pp. 58-65, 2020.
- [12] ARM Developer, "µVision GUI." [Online]. Available: <https://developer.arm.com/documentation/101407/0540/User-Interface/uVision-GUI?lang=en>
- [13] ARM, "Getting Started with MDK: Create Applications with µVision 5." Keil. [Online]. Available: <https://www2.keil.com/docs/default-source/default-document-library/mdk5-getting-started.pdf>, 2016.
- [14] M. A. Najib, A. Syuhada, W. D. Irfianton, and S. Sulartopo, "Sistem Deteksi Kebakaran Menggunakan Esp32 Dan Arduino," in *Seminar Nasional Teknologi Dan Multidisiplin Ilmu (SEMNASTEKMU)*, 2023, pp. 211-218.
- [15] P. Sokibi and R. A. Nugraha, "Perancangan Prototype Sistem Peringatan Indikasi Kebakaran Di Dapur Rumah Tangga Berbasis Arduino Uno," *J. Digit Digit. Inf. Technol.*, vol. 10, no. 1, pp. 11-22, 2020.
- [16] J. Mulyono and E. Apriaskar, "S Simulasi Alarm Kebakaran Menggunakan Sensor Mq-2, Falme Sensor Berbasis Mikrokontroler Arduino," *Elkom J. Elektron. dan Komput.*, vol. 14, no. 1, pp. 16-25, 2021.
- [17] M. A. Wijaya, R. N. Ikhsan, and E. Sugianto, "Analisis Perbandingan Kinerja Antara Sensor Api Flame 5 Channel Dengan Sensor Asap MQ2," *Bull. Inf. Technol.*, vol. 3, no. 4, pp. 231-238, 2022.
- [18] A. W. Biantoro, R. Anggraini, and S. Subekti, "Pengembangan Alat Deteksi Dini Asap Dan Kebocoran Gas Pada Tabung Lpg, Pencegah Kebakaran Skala Rumah Tangga," *Fakt. Exacta*, vol. 13, no. 2, pp. 113-124, 2020.
- [19] A. Gautam, G. Verma, S. Qamar, and S. Shekhar, "Vehicle pollution monitoring, control and challan system using MQ2 sensor based on internet of things," *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 116, pp. 1071-1085, 2021.
- [20] Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Jawa Barat, "Prosedur Peringatan Dini dan Prosedur Evakuasi Keadaan Darurat." [Online]. Available: <https://esdm.jabarprov.go.id/prosedur-peringatan-dini-dan-prosedur-evakuasi-keadaan-darurat/>, 2020.