

Model Lampu Isyarat Pintar bagi Kenderaan Kecemasan

Smart Traffic Light Model for Emergency Vehicles

Muhammad Adam Syaheed Asrul Faizal¹, Eliya Nasierah Wira Ali¹, Nurin Afrina Abd Rahim¹, Hazirah Bujang^{1,2*}, Nor Baizura Hamid¹

¹ Department of Civil Engineering, Centre for Diploma Studies,
Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Pagoh Higher Education Hub 84600 Pagoh, Johor, MALAYSIA

² Spatial Technology for Civil Engineering, Centre for Diploma Studies,
Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Pagoh Higher Education Hub, 86400 Pagoh, Johor, MALAYSIA

*Pengarang Utama: hazirahb@uthm.edu.my

DOI: <https://doi.org/10.30880/mari.2026.07.02.030>

Maklumat Artikel

Diserah: 1 Mac 2026

Diterima: 1 Mei 2026

Diterbitkan: 30 Jun 2026

Kata Kunci

Lampu isyarat pintar, kenderaan kecemasan, sensor bunyi, keutamaan trafik, sistem kawalan lalu lintas

Abstrak

Projek ini dijalankan bagi menangani isu kelewatan kenderaan kecemasan yang sering terperangkap dalam kesesakan lalu lintas akibat sistem lampu isyarat yang tidak responsif. Kelewatan ini boleh mendatangkan kesan yang serius, terutamanya apabila melibatkan nyawa. Maka, sistem lampu isyarat pintar ini direka bentuk untuk memberi keutamaan kepada kenderaan kecemasan dengan mengesan bunyi siren agar lampu isyarat dapat bertukar kepada hijau secara automatik. Objektif kajian ini adalah untuk mendapatkan maklum balas pengguna jalan raya tentang keperluan sistem lampu isyarat pintar dan pada masa yang sama mereka bentuk model sistem berasaskan sensor bunyi. Sistem ini diuji bagi menentukan keberkesannya dalam mengesan kenderaan kecemasan serta menukar isyarat lampu dengan segera. Kaedah kajian melibatkan edaran borang soal selidik menggunakan Google Form kepada 100 responden serta pembangunan prototaip sistem. Hasil kajian menunjukkan bahawa 68% responden bersetuju bahawa lampu isyarat pintar penting bagi mempercepatkan pergerakan kenderaan kecemasan, manakala 85% berpendapat bahawa lampu isyarat konvensional menjadi penyebab kepada kelewatan pergerakan kenderaan kecemasan. Seterusnya model prototaip berjaya dihasilkan dan sistem prototaip juga berjaya berfungsi dengan baik apabila diuji dalam simulasi. Ujian dijalankan dengan menggunakan sensor dan mikropengawal untuk melihat tindak balas sistem terhadap input daripada kenderaan kecemasan. Keputusan purata pengujian model lampu bertukar hijau ialah sebanyak 88.89% dan purata lampu kekal merah ialah sebanyak 11.11%. Kesimpulannya, semua objektif kajian telah berjaya dicapai dan sistem lampu isyarat pintar yang dibangunkan menunjukkan potensi untuk membantu mempercepatkan laluan kenderaan kecemasan serta meningkatkan keselamatan di jalan raya.

Keywords

Smart traffic lights, emergency vehicles, sound sensors, traffic priority, traffic control system

Abstract

This project was carried out to address the issue of delays faced by emergency vehicles that are often trapped in traffic congestion due to unresponsive traffic light systems. These delays can have serious consequences, especially when lives are at stake. Therefore, this smart traffic light system was designed to prioritize emergency vehicles by detecting the sound of sirens, allowing the traffic lights to automatically switch to green. The objectives of this study were to obtain feedback from road users regarding the need for a smart traffic light system, while also designing a sound sensor-based system model. The system was tested to determine its effectiveness in detecting emergency vehicles and changing the traffic signal immediately. The research methodology involved distributing questionnaires through Google Forms to 100 respondents, as well as developing a system prototype. The results showed that 68% of respondents agreed that smart traffic lights are important in speeding up the movement of emergency vehicles, while 85% believed that conventional traffic lights are a cause of delays in emergency vehicle movement. Furthermore, the prototype model was successfully developed, and the prototype system also functioned well when tested in simulation. Tests were carried out using sensors and a microcontroller to observe the system's response to input from emergency vehicles. The average test result for the light changing to green was 88.89%, while the average result for the light remaining red was 11.11%. In conclusion, all research objectives were successfully achieved, and the developed smart traffic light system shows potential to help speed up emergency vehicle passage and improve road safety.

1. Pendahuluan

Kesesakan lalu lintas merupakan isu kritikal terutamanya di kawasan bandar yang pesat membangun akibat fenomena urbanisasi dan peningkatan jumlah kenderaan [1]. Sistem lampu isyarat konvensional yang menggunakan kawalan masa tetap (fixed-time traffic light control) tidak mampu menyesuaikan diri dengan kepadatan lalu lintas dan gagal memberi keutamaan kepada kenderaan kecemasan dalam situasi kritikal [2]. Teknologi ini tidak dapat mengenal pasti kehadiran kenderaan kecemasan serta tidak boleh menukar lampu secara automatik untuk memberi laluan segera. Kekurangan tersebut menyumbang kepada peningkatan risiko kemalangan dan kelewatan yang boleh menjejaskan nyawa serta masa [1]. Selain itu, sistem ini juga tidak berkesan dalam mengurangkan kesesakan lalu lintas kerana kitaran lampu tidak berubah mengikut jumlah kenderaan di persimpangan [3].

Sistem lampu isyarat konvensional mengeluarkan isyarat merah, kuning, dan hijau pada waktu tetap tanpa mengambil kira kepadatan lalu lintas semasa [4]. Kesesakan lalu lintas juga memperlambatkan masa respons kenderaan kecemasan seperti mangsa kemalangan yang memerlukan rawatan segera sering mengalami komplikasi yang lebih teruk seterusnya mengakibatkan peningkatan kadar kematian [1]. Kesesakan lalu lintas yang tidak terkawal memberi tekanan kepada pengguna jalan raya dan mendorong tindakan berbahaya seperti menukar lorong secara mengejut atau memintas tanpa peraturan [5]. Tindakan ini meningkatkan risiko kemalangan termasuk kepada kenderaan kecemasan yang sedang menjalankan tugas. Penggunaan sistem pengawasan manual melalui sistem kamera litar tertutup, closed circuit television (CCTV) dan kawalan lampu isyarat yang tidak efisien menyumbang kepada kelewatan dalam pengurusan trafik serta bantuan kecemasan [1]. Kajian menunjukkan bahawa kelewatan mendapatkan bantuan perubatan merupakan penyumbang utama kepada kadar kematian akibat kemalangan [1]. Keadaan ini menyukarkan kenderaan kecemasan seperti ambulans, trak bomba dan peronda polis untuk sampai ke lokasi kecemasan terutamanya apabila lampu isyarat berwarna merah dan pengguna jalan raya tidak dapat memberikan laluan akibat laluan yang sempit.

Bagi mengatasi masalah ini, kajian ini membangunkan satu model sistem lampu isyarat pintar yang berasaskan pengesanan bunyi siren kenderaan kecemasan, di mana lampu isyarat akan bertukar hijau secara automatik apabila kehadiran kenderaan kecemasan dikesan [6]. Model ini menggunakan sensor bunyi yang boleh mengenal pasti siren daripada ambulans, trak bomba atau kenderaan polis, dan menghantar isyarat kepada mikropengawal (Arduino Uno) untuk menukar lampu isyarat kepada hijau agar kenderaan kecemasan diberi laluan segera [7]. Lampu isyarat pintar telah muncul sebagai penyelesaian inovatif untuk mengatasi masalah ini. Sistem ini mampu mengesan dan memberi keutamaan kepada kenderaan kecemasan agar memastikan pergerakan lebih lancar [8]. Selain itu, perhatian juga diberikan kepada bagaimana sistem ini boleh

memperbaiki pengurusan trafik, mengurangkan kesesakan serta meningkatkan keselamatan dan kecekapan pengangkutan [9]. Objektif utama kajian ini ialah pertama, menilai pandangan serta tindak balas pengguna jalan raya terhadap kehadiran kenderaan kecemasan melalui pengedaran borang soal selidik. Kedua mereka bentuk dan membangunkan prototaip sistem lampu isyarat pintar menggunakan Arduino dan sensor bunyi. Ketiga, menguji keberkesanan model lampu isyarat pintar yang dibangunkan dalam meningkatkan kecekapan aliran trafik dan respon kecemasan.

Sistem lampu isyarat pintar berupaya meningkatkan kecekapan pengurusan lalu lintas dan keselamatan jalan raya secara signifikan [8]. Tidak seperti sistem konvensional, sistem pintar ini mengaplikasikan sensor dan pengaturcaraan dinamik yang membolehkan pengesanan kenderaan kecemasan secara masa nyata dan pengubahsuaian isyarat lampu secara automatik [4]. Sensor bunyi memainkan peranan utama dalam sistem ini dengan mengesan frekuensi siren kenderaan kecemasan yang diproses oleh mikropengawal seperti Arduino Uno [7].

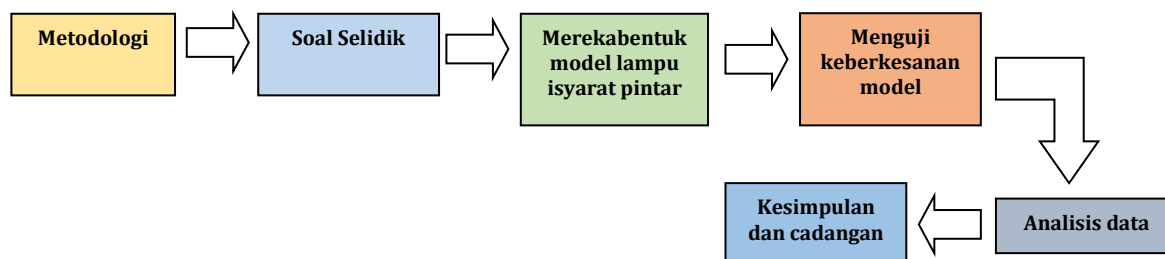
Beberapa kajian lepas telah membangunkan sistem lampu isyarat pintar bagi memudahkan laluan kenderaan kecemasan, di mana ia menggunakan sensor dan komunikasi tanpa wayar untuk mengesan kehadiran kenderaan kecemasan dan menukar isyarat lampu secara automatik bagi memberi keutamaan laluan [10]. Kajian ini juga turut mempertimbangkan pembangunan sistem yang sesuai diaplikasikan di kawasan bandar berisiko tinggi seperti berhampiran hospital, balai bomba dan balai polis. Selain penggunaan sensor bunyi, terdapat kajian lepas mengatakan bahawa teknologi Internet of Things (IoT) turut diaplikasikan dalam pembangunan sistem pengangkutan pintar untuk mengurangkan kesesakan dan meningkatkan keselamatan trafik [9]. Kajian lepas juga menunjukkan teknologi kamera berkelajuan tinggi dan pengimejan visual mampu mengesan kehadiran kenderaan kecemasan secara efektif [11]. Bagi meningkatkan kelancaran komunikasi data, sistem kawalan trafik pintar berasaskan vehicular ad-hoc network (VANETs) turut dicadangkan [12]. Tambahan pula, protokol PE-MAC dibangunkan untuk mengutamakan mesej kecemasan dalam sistem kawalan trafik bandar [13].

Dari aspek kelestarian tenaga, kajian lepas menyatakan bahawa penggunaan tenaga suria sebagai sumber kuasa lampu isyarat dan paparan maklumat trafik turut diterapkan [14]. Teknologi RFID pula berpotensi membantu pengesanan kenderaan hilang serta mengoptimumkan pengurusan kesesakan trafik secara masa nyata [15]. Selain itu, penggunaan algoritma keutamaan juga diusulkan untuk memberi laluan segera kepada ambulans, trak bomba dan kenderaan penguat kuasa secara automatik [16].

2. Bahan dan Metodologi Kajian

Bahagian ini menerangkan secara terperinci tentang bahan dan kaedah yang digunakan dalam kajian ini bagi mencapai objektif yang telah ditetapkan. Metodologi merupakan panduan penting yang merangkumi pendekatan, teknik, dan langkah-langkah yang diambil untuk mengumpul data, menganalisis maklumat, serta mereka bentuk dan menguji keberkesanan sistem lampu isyarat pintar yang dibangunkan.

Dalam projek sistem trafik pintar untuk kenderaan kecemasan ini, pendekatan yang digunakan melibatkan beberapa peringkat utama iaitu perancangan, pembangunan, pelaksanaan, dan penilaian sistem. Setiap peringkat dilaksanakan dengan teliti bagi memastikan projek dijalankan secara sistematik, berkesan dan selari dengan matlamat kajian. Rajah 1 menunjukkan carta alir pelaksanaan projek yang telah disusun berdasarkan objektif utama kajian ini.

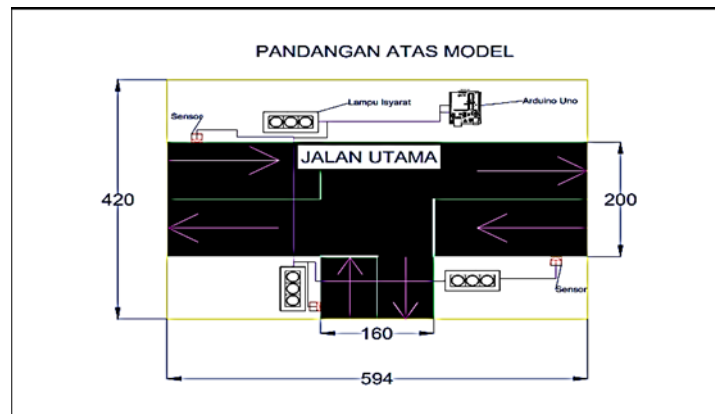


Rajah 1 Carta alir bagi keseluruhan kajian

Pada peringkat awal kajian, soal selidik digunakan sebagai kaedah utama untuk mengumpul maklumat daripada responden. Soal selidik ini direka khusus bagi membantu penyelidik mendapatkan gambaran yang jelas tentang tindakan pengguna jalan raya apabila berhadapan dengan kenderaan kecemasan, terutamanya ketika berada di lampu isyarat merah. Di samping itu, ia juga menilai tahap kesedaran serta aspek keselamatan berkaitan situasi tersebut. Borang soal selidik ini terdiri daripada dua bahagian utama. Bahagian A untuk mengumpulkan maklumat demografi responden, manakala Bahagian B mengandungi soalan berkaitan tingkah laku mereka semasa memberi laluan kepada kenderaan kecemasan. Soal selidik ini diedarkan secara atas talian

melalui *Google Form* dan disasarkan kepada orang awam serta pemandu kenderaan kecemasan yang biasa melalui kawasan lampu isyarat.

Pada peringkat kedua, proses mereka bentuk model lampu isyarat pintar dijalankan menggunakan skala A2 (420 mm x 594 mm). Rekabentuk ini melibatkan dua bahagian jalan raya iaitu jalan utama dan jalan sekunder, serta menampilkan satu cahaya isyarat yang ringkas bersama sensor bunyi untuk membantu memberi isyarat jelas kepada pengguna jalan raya. Rajah 2 menunjukkan dimensi model yang direka agar mencukupi untuk menempatkan komponen elektrik dengan kemas, selain memastikan lampu isyarat dapat dilihat dengan jelas oleh pemandu kenderaan kecemasan dan pengguna jalan raya yang lain. Selain itu, sistem turut mengambil kira keberkesanan sensor dengan meletakkannya di bahagian luar peranti dan digabungkan bersama penguat audio bagi meningkatkan kelantangan siren. Jadual 1 menyenaraikan komponen utama yang digunakan dalam pembangunan model.



Rajah 2 Rekabentuk model

Jadual 1 Komponen elektronik model

Bahan/komponen yang digunakan	Penerangan
Arduino Uno R3	Mikropengawal yang akan menukarkan lampu isyarat daripada merah ke hijau
Wayar klip buaya	Menyambungkan lampu daripada litar pendawaian kepada model lampu isyarat
Wayar penyambung	Menyambungkan lampu LED bersama papan utama Arduino Uno R3
Litar pendawaian	Tempat memasang komponen elektronik
Sensor Bunyi Menggunakan Microfon	Mengesan bunyi

Bagi peringkat seterusnya, pengujian model lampu isyarat pintar dijalankan bagi memastikan sistem dapat mengesan kehadiran kenderaan kecemasan dan menukar lampu isyarat secara automatik. Ujian ini melibatkan penggunaan sensor bunyi untuk mengenal pasti frekuensi siren, manakala mikropengawal seperti Arduino digunakan untuk memproses isyarat dan mengawal pertukaran lampu. Simulasi dilakukan menggunakan model berskala A2, mewakili situasi sebenar di kawasan seperti hospital atau balai bomba. Pengujian dilakukan menggunakan simulasi kenderaan kecemasan pada jarak berbeza (10 cm, 20 cm, 30 cm) dari sistem dengan menggunakan jenis sensor bunyi dan akan memberikan keputusan kepada lampu isyarat sama ada hijau atau merah. Tujuan pengujian adalah untuk memastikan sensor bunyi dapat mengesan kehadiran kenderaan kecemasan sekaligus untuk menguji keberkesanan pertukaran lampu secara automatik melalui mikropengawal Arduino.

3. Hasil dan Perbincangan

Bahagian ini membincangkan dapatan kajian yang diperoleh daripada instrumen kajian iaitu borang soal selidik. Analisis data dilakukan bagi mengenal pasti persepsi serta pengalaman pengguna jalan raya terhadap isu pergerakan kenderaan kecemasan di persimpangan lampu isyarat.

3.1 Analisis Borang Soal Selidik

Data yang diperolehi adalah hasil daripada borang soal selidik melalui Google Form yang telah diedarkan menggunakan aplikasi Whatsapp. Data dikumpulkan daripada 100 orang responden terdiri daripada masyarakat pelbagai peringkat usia dan pengalaman memandu. Di dalam borang soal selidik ini terbahagi kepada dua bahagian yang perlu diisi oleh responden iaitu Bahagian A dan Bahagian B. Bahagian A merupakan demografi responden manakala Bahagian B berkaitan dengan pengalaman dan pandangan responden terhadap kenderaan kecemasan di persimpangan lampu isyarat. Data ini perlu dikumpul bagi membantu mendapatkan pendapat sewajarnya daripada orang awam berkaitan kepekaan terhadap reaksi kepada siren kenderaan kecemasan di kawasan persimpangan lampu isyarat di kawasan bandar yang padat. Majoriti responden berumur antara 41 hingga 50 tahun dan terdiri daripada kaum Melayu. Pengalaman memandu melebihi 10 tahun dalam kalangan kebanyakan responden mencerminkan tahap pemahaman yang tinggi terhadap situasi di jalan raya.

Jadual 2 menunjukkan data yang diperolehi daripada Bahagian B. Dapatan menunjukkan bahawa 79% responden menganggap lampu isyarat sebagai penghalang utama kepada pergerakan kenderaan kecemasan, manakala 61% mengalami kesukaran untuk memberi laluan di persimpangan. Selain itu, 81% responden menyedari bahawa pengguna jalan raya tidak memberi tindak balas sewajarnya terhadap kehadiran kenderaan kecemasan. Pemandu kenderaan kecemasan sendiri iaitu sebanyak 93% mengakui bahawa mereka juga menghadapi kesukaran untuk melalui persimpangan lampu isyarat. Ini mengesahkan dapatan umum bahawa sistem lampu isyarat konvensional tidak menyokong keperluan pergerakan pantas semasa kecemasan. Sebanyak 87% responden menyatakan kelemahan lampu isyarat konvensional, dan 85% percaya bahawa ia menjadi penyebab utama kelewatan kenderaan kecemasan. Masalah kesesakan lalu lintas juga dikaitkan secara langsung dengan ketidakefisienan sistem lampu isyarat. Data menunjukkan bahawa kenderaan kecemasan sering ditemui di persimpangan dan situasi ini memerlukan sistem yang lebih responsif. Berdasarkan soalan kekerapan, sebanyak 33% responden menyatakan persetujuan terhadap persimpangan lampu isyarat di kawasan mereka sering berlaku kesesakan lalu lintas akibat sistem yang tidak sistematik. Selain itu, sebanyak 30% responden bersetuju bahawa kekerapan mereka menemui kenderaan kecemasan di persimpangan lampu isyarat semasa dalam perjalanan. Sebanyak 68% responden pula menyatakan persetujuan terhadap keberkesanan sistem pintar yang boleh mengesan siren secara automatik untuk mengubah status lampu isyarat.

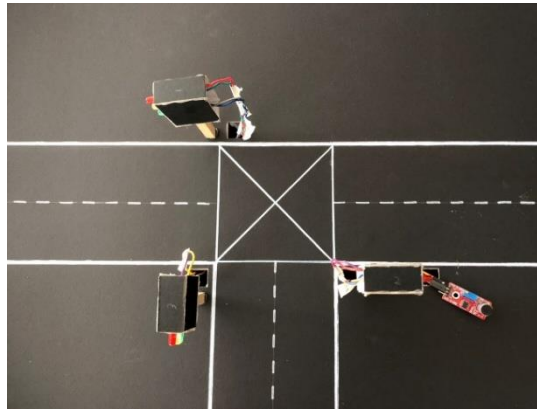
Jadual 2 Soalan dan dapatan Google Form Bahagian B

Soalan	Ya (%)	Tidak (%)
Adakah anda merasakan lampu isyarat menjadi penghalang untuk kenderaan kecemasan bergerak dengan lancar semasa berlaku kecemasan?	79	21
Adakah anda mengalami kesukaran untuk memberikan laluan kepada kenderaan kecemasan semasa berada di persimpangan lampu isyarat?	61	39
Adakah anda sering melihat pengguna jalan raya yang tidak bertindak balas terhadap kenderaan kecemasan?	81	19
Adakah anda sebagai pemandu kenderaan kecemasan berasa sukar untuk melalui trafik di persimpangan semasa berlaku kecemasan? (soalan ini hanya untuk pemandu ambulans, trak bomba dan peronda polis)	93	7
Adakah anda bersetuju bahawa lampu isyarat konvensional mempunyai pelbagai kelemahan, terutamanya dalam memberikan keutamaan kepada laluan yang digunakan oleh kenderaan kecemasan?	87	13
Adakah anda bersetuju bahawa lampu isyarat konvensional akan menyebabkan kelewatan kepada kenderaan kecemasan?	85	15

Soalan	Kekerapan (%)				
	1	2	3	4	5
Adakah persimpangan lampu isyarat di kawasan anda sering berlaku kesesakan lalu lintas akibat lampu isyarat yang tidak sistematik?	7	8	29	23	33
Seberapa kerap anda menemui kenderaan kecemasan di persimpangan lampu isyarat semasa perjalanan anda?	10	11	29	20	30
Adakah anda setuju penggunaan trafik pintar yang dapat mengesan siren kenderaan kecemasan memudahkan pergerakan untuk memberikan laluan kepada kenderaan kecemasan?	3	4	13	12	68

3.2 Reka Bentuk Model

Berdasarkan model lampu isyarat yang telah dibangunkan pada Rajah 3, model ini menunjukkan reka bentuk model ini telah siap dibina dan berfungsi seperti yang dikehendaki. Model ini direka untuk menghidupkan lampu isyarat dan kemudian lampu isyarat ini dimanipulasi menggunakan sensor bunyi. Berdasarkan model ini, Lampu Light Emitting Diode (LED) berwarna merah yang berada pada lampu isyarat-2 akan ditukarkan menjadi lampu LED berwarna hijau dan lampu LED pada lampu isyarat yang lain akan ditukarkan menjadi lampu LED merah apabila bunyi siren dikesan oleh sensor bunyi yang telah dipasangkan pada model lampu isyarat.



Rajah 3 Reka bentuk model fizikal Lampu Isyarat Pintar

Carta alir sistem lampu isyarat pintar dimulakan apabila sistem dihidupkan dan proses inisialisasi berlaku, di mana semua pin LED (merah dan hijau) serta sensor bunyi ditetapkan sebagai input atau output. Pada masa yang sama, komunikasi *Serial Monitor* turut dimulakan bagi memaparkan bacaan sensor. Seterusnya, sistem akan membaca nilai bunyi daripada sensor untuk mengesan kehadiran siren. Sekiranya nilai bunyi yang dikesan melebihi ambang 600, sistem akan memasuki mod kecemasan, manakala jika nilai bunyi adalah rendah, sistem akan beroperasi dalam mod normal.

Dalam mod normal, sistem akan menghidupkan lampu hijau pada laluan kedua (LED2), mematikan lampu merah LED1, dan menyalakan lampu merah LED2 dan LED3 bagi memastikan hanya satu arah dibenarkan bergerak seperti dalam keadaan trafik biasa. Sebaliknya, apabila sistem mengesan bunyi siren, ia akan memasuki mod kecemasan di mana kesemua lampu merah dihidupkan dan lampu hijau dimatikan. Sistem kemudian terus memantau tahap bunyi selama sepuluh saat. Sekiranya bunyi siren masih kekal dikesan, lampu hijau LED1 akan dihidupkan bagi memberi laluan kepada kenderaan kecemasan, manakala lampu merah LED2 akan dimatikan. Jika tiada bunyi siren dikesan sepanjang tempoh tersebut, semua lampu kekal merah sebagai langkah keselamatan. Selepas tempoh 5 saat berakhir, semua lampu dipadamkan dan sistem akan direset secara automatik untuk kembali ke keadaan sedia memantau. Proses ini akan diulang secara berterusan bagi memastikan sistem sentiasa bersedia untuk memberi tindak balas terhadap kehadiran kenderaan kecemasan.

3.3 Pengujian Model

Model lampu isyarat pintar yang dibangunkan dalam kajian ini telah menjalani beberapa siri ujian bagi menilai tahap keberkesannya dalam mengesan bunyi siren kenderaan kecemasan dan memberikan tindak balas yang bersesuaian. Ujian telah dijalankan pada tiga jarak berbeza iaitu 10 cm, 20 cm dan 30 cm yang mewakili jarak sebenar sebanyak 10meter, 20meter dan 30meter berdasarkan skala model (1:100) seperti dalam Jadual 3. Tujuan pengujian ini adalah untuk menilai kepekaan sensor bunyi yang digunakan dalam sistem terhadap bunyi siren dari pelbagai jarak.

Jadual 3 Keputusan pengujian model lampu isyarat pintar

Bil.	Jarak (cm)	Bacaan	Jenis sensor	Keputusan lampu isyarat
1.	10	1	Sensor bunyi	Hijau
		2		Hijau
		3		Hijau
2.	20	1		Hijau
		2		Hijau
		3		Hijau

3.	30	1	Hijau
		2	Merah
		3	Hijau

Keputusan menunjukkan bahawa sistem memberikan tindak balas yang sangat baik pada jarak 10 cm dan 20 cm di kesemua bacaan dengan kadar kejayaan sebanyak 100%. Ini bermakna, pada kedua-dua jarak tersebut, kesemua sensor berjaya mengesan bunyi siren dengan tepat dan seterusnya menukar lampu isyarat kepada hijau dan menukarkan lampu isyarat kepada merah di laluan yang lain. Keberkesanan yang tinggi ini membuktikan bahawa sistem mampu berfungsi dengan sangat efisien apabila kenderaan kecemasan berada dalam jarak dekat ke arah persimpangan. Namun begitu, apabila diuji pada jarak 30 cm di baccaan ketiga, keberkesanan sistem menunjukkan sedikit penurunan, di mana hanya 66.67% daripada ujian yang dijalankan menunjukkan tindak balas lampu isyarat bertukar kepada hijau. Selebihnya, lampu isyarat kekal merah, menunjukkan bahawa kepekaan sistem berkurang apabila bunyi siren dikesan dari jarak yang lebih jauh. Berdasarkan Jadual 4, purata menunjukkan lampu isyarat yang bertukar hijau ialah sebanyak 88.89% dan lampu isyarat yang kekal merah ialah sebanyak 11.11% setelah bunyi siren dikesan oleh sensor bunyi. Walaupun demikian, peratusan tindak balas positif masih tinggi dan menunjukkan bahawa sistem masih berupaya memberikan laluan kepada kenderaan kecemasan secara automatik. Secara keseluruhan, hasil pengujian ini membuktikan bahawa model sistem lampu isyarat pintar yang dibangunkan berfungsi dengan baik dalam mengesan kehadiran kenderaan kecemasan melalui bunyi siren.

Jadual 4 Purata keputusan

Jarak (cm)	% Lampu hijau	% Lampu merah
10	100%	0%
20	100%	0%
30	66.67%	33.33%
Purata	88.89%	11.11%

4. Kesimpulan

Data yang diperolehi adalah hasil daripada borang soal selidik melalui Google Form yang telah diedarkan Secara keseluruhannya, projek pembangunan model sistem lampu isyarat pintar untuk kenderaan kecemasan ini telah berjaya mencapai objektif utama yang ditetapkan. Model sistem ini direka bentuk bagi mengesan kehadiran kenderaan kecemasan melalui siren menggunakan sensor bunyi dan bertindak secara automatik menukar isyarat lampu kepada hijau di laluan yang diperlukan. Berdasarkan data soal selidik daripada 100 orang responden, sebanyak 79% menyatakan bahawa lampu isyarat sering menjadi halangan utama semasa kecemasan, manakala 81% pernah melihat pengguna jalan raya gagal memberikan laluan kepada kenderaan kecemasan. Selain itu, maklum balas daripada pemandu kenderaan kecemasan juga menunjukkan bahawa mereka sering mengalami kesukaran ketika melalui persimpangan lampu isyarat. Ini menunjukkan sistem lampu isyarat konvensional kurang sesuai dalam situasi kritikal. Justeru, pembangunan model prototaip menggunakan mikropengawal Arduino Uno dan sensor bunyi telah dibangunkan, dan diuji dalam simulasi yang menunjukkan keberkesanan dengan kadar kejayaan sistem mencapai 88.88% dalam menukar isyarat lampu secara automatik. Keputusan ini membuktikan bahawa sistem lampu isyarat pintar berasaskan sensor bunyi berpotensi untuk dilaksanakan dalam sistem trafik sebenar, khususnya di kawasan bandar yang padat, demi memastikan kelancaran pergerakan kenderaan kecemasan serta meningkatkan tahap keselamatan pengguna jalan raya secara keseluruhan.

Berdasarkan pelaksanaan dan penilaian ke atas projek ini, beberapa cadangan penambahbaikan telah dikenal pasti bagi meningkatkan keberkesanan sistem. Antara cadangan utama ialah dengan menambah penggunaan sensor pergerakan (motion sensor) bagi membolehkan sistem mengesan arah sebenar kedatangan kenderaan kecemasan, sekali gus membolehkan sistem menukar lampu kepada hijau hanya pada laluan yang relevan tanpa mengganggu laluan lain. Selain itu, penambahbaikan pada sensor bunyi juga wajar dipertimbangkan dengan menyelaraskan frekuensi pengesanan agar hanya tertumpu kepada bunyi siren ambulans, bomba atau polis sahaja, bagi mengelakkan tindak balas kepada bunyi persekitaran yang tidak berkaitan. Di samping itu, prestasi mikropengawal boleh ditingkatkan supaya sistem bertindak balas dengan lebih cepat dan cekap apabila menerima input daripada sensor. Seterusnya, model sistem ini menggunakan arduino yang berkeupayaan untuk model berskala kecil sahaja. Manakala bagi skala sebenar, sensor yang lebih kuat perlu digunakan. Tambahan lagi, penggunaan teknologi komunikasi seperti IoT boleh digunakan untuk menyelaraskan operasi antara lampu isyarat di beberapa simpang, agar laluan kecemasan dapat dikawal secara bersepadu. Ujian secara lapangan sebenar berskala kecil juga disyorkan supaya sistem dapat dinilai dalam keadaan trafik sebenar. Dengan cadangan-cadangan ini, sistem lampu isyarat pintar yang dibangunkan boleh

ditambah baik dari segi kecekapan, ketepatan serta kebolegunaan dalam dunia sebenar bagi menyokong operasi kenderaan kecemasan.

Penghargaan

Para penulis merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada Pusat Pengajian Diploma (CeDS), Universiti Tun Hussein Onn Malaysia atas sokongan yang sangat bermakna. Penghargaan ikhlas turut ditujukan kepada semua pihak yang telah menyumbang secara langsung atau tidak langsung dalam menjayakan projek ini.

Konflik Kepentingan

Penulis bahawa tiada sebarang konflik kepentingan berkaitan dengan penerbitan kertas ini.

Sumbangan Penulis

Para penulis mengesahkan sumbangan terhadap kertas ini adalah seperti berikut: **konsepsi dan reka bentuk kajian:** Muhammad Adam Syaheed Asrul Faizal, Eliya Nasierah Wira Ali, Nurin Afrina Abd Rahim, Hazirah Bujang, Nor Baizura Hamid; **pengumpulan data:** Muhammad Adam Syaheed Asrul Faizal, Eliya Nasierah Wira Ali, Nurin Afrina Abd Rahim; **analisis dan interpretasi hasil:** Muhammad Adam Syaheed Asrul Faizal, Eliya Nasierah Wira Ali, Nurin Afrina Abd Rahim; **penyediaan draf manuskrip:** Muhammad Adam Syaheed Asrul Faizal, Eliya Nasierah Wira Ali, Nurin Afrina Abd Rahim, Hazirah Bujang, Nor Baizura Hamid. Semua penulis telah menyemak hasil kajian dan meluluskan versi akhir manuskrip.

Rujukan

- [1] F. Mohammed et al., "Teknologi AI atasi kesesakan trafik, tingkat kualiti jalan raya," Report/Article, 2024.
- [2] Z. Dimitros, M. Ioannis, P. Georgios, et al., "The Importance of Implementation of Traffic Light Optimization System," Greece Case Study, 2024, pp. 23–24.
- [3] A. Hazarika, N. Choudhury, et al., "Edge ML Technique for Smart Traffic Management in Intelligent Transportation Systems," vol. 12, no. 1, pp. 25443–25458, 2024.
- [4] Q. Li, H. Zhang, H. Lu, et al., "Real-time traffic density estimation for smart traffic management systems," 2020.
- [5] F. Anam, N. Vadana, et al., "Smart Density Based Traffic Light System," 2020.
- [6] M. Rosayyan, M. Alfiqri, N. Rosli, N. Harun, R. Sapawi, et al., "Smart Traffic Light System for Emergency Vehicle Using Sound Sensor Technology," International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration (IJATEE), vol. 10, no. 3, pp. 56–63, 2023.
- [7] K. Low, Z. Attar Bashi, et al., "Smart Traffic Light Monitoring System for Emergency using Arduino," 2021.
- [8] L. Vigneash, S. Samraj, et al., "Vehicle Density and Emergency Vehicle Detection for Smart Traffic Control," 2023.
- [9] A. Musa, S. Malam, et al., "Sustainable Traffic Management for Smart Cities Using Internet-of-Things-Oriented Intelligent Transportation Systems (ITS): Challenges and Recommendations," 2020.
- [10] R. Jegan, S. Devi, et al., "Traffic Light Controller Using Sound Sensors and Density Sensors," 2018, pp. 1141–1144.
- [11] Y. Kento, H. Mashahiro, et al., "Real-Time Traffic Light Detection with Frequency Patterns Using a High-speed Camera," vol. 20, no. 14, p. 4035, 2020.
- [12] N. Kapileswar, P. Gerhard, et al., "Management for Emergency Vehicle Priority Based on Visual Sensing," 2016.
- [13] M. Ahmad, M. Ameen, J. Iqbal, et al., "Priority-Based Emergency Message Scheduling Algorithm (PE-MAC) for Urban Traffic Control System," Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, vol. 40, no. 3, pp. 4481–4490, 2021.
- [14] R. Pooja, S. Patil, et al., "Solar Powered Smart Traffic Control System Using Time Management," vol. 6, no. 6, pp. 2349–5162, 2019.
- [15] A. Atta, S. Abbas, et al., "An Adaptive Approach: Smart Traffic Congestion Control System," Computer and Information Sciences, vol. 3, no. 2, pp. 1012–1019, 2020.
- [16] G. Karmakar, A. Chowdhury, et al., "A Smart Priority-Based Traffic Control System for Emergency Vehicles," 2020.