

Deteksi Pelanggaran pada Zebra Cross dengan Water Spray dan Buzzer berbasis IoT

Dina Uzlifatul Firdaus ^{(1)*}, Febrian Wahyu Christanto ⁽²⁾

Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi, Universitas Semarang,
Semarang

e-mail : dina.uzlifatul5@gmail.com, febrian.wahyu.christanto@usm.ac.id.

* Penulis korespondensi.

Artikel ini diajukan 21 Februari 2024, direvisi 5 Mei 2024, diterima 7 Mei 2024, dan dipublikasikan 25 Mei 2024.

Abstract

A zebra crossing is a road marking indicating a crossing path for pedestrians. Zebra crossings are directly used to signal drivers to stop at the line boundaries. Because the zebra crossing functions as a crossing area, pedestrians and motorized vehicle drivers must understand and obey existing traffic signs. According to data from the WHO (World Health Organization), 270,000 pedestrians die every year or around 22% of all victims who die due to road accidents. An ESP32-Cam microcontroller, an E18-D80NK Infrared Proximity Sensor, water spray and buzzer approaches, and the prototype development method were used to design a system for detecting crossing violations at zebra crossings to address this issue. The Infrared Proximity sensor will automatically detect when a crossing violation occurs, then the water spray will spray water, and the buzzer will make a sound as a warning sign to obey traffic. ESP32-Cam functions as an image capturer if a crossing violation has occurred and is automatically sent to the Telegram Bot. The confusion matrix test tested the research results with an accuracy value of 83.33%, a precision value of 83.33%, and a recall value of 88.23%.

Keywords: Buzzer, ESP32-Cam, E18-D80NK Infrared Proximity Sensor, Water Spray, Zebra Crossing

Abstrak

Zebra cross adalah marka jalan yang menandakan jalur penyeberangan bagi pejalan kaki untuk melintas. Secara langsung zebra cross juga digunakan untuk penanda pengemudi untuk berhenti pada batasan garisnya. Karena fungsi zebra cross sebagai area penyeberangan, maka baik pejalan kaki ataupun pengemudi kendaraan bermotor wajib memahami dan mematuhi rambu-rambu lalu lintas yang ada. Menurut data dari WHO (World Health Organization) terdapat 270.000 pejalan kaki meninggal dunia setiap tahun atau sekitar 22% dari seluruh korban meninggal akibat kecelakaan di jalan. Untuk menangani permasalahan tersebut maka dibuatlah sebuah sistem pendeteksi pelanggaran penyeberangan pada zebra cross dengan metode pengembangan Prototype serta mikrokontroler ESP32-Cam dan Sensor Infrared Proximity E18-D80NK menggunakan teknik water spray dan buzzer. Sensor Infrared Proximity akan mendeteksi secara otomatis saat pelanggaran penyeberangan terjadi dan kemudian water spray akan menyemprotkan air serta buzzer akan mengeluarkan suara sebagai tanda peringatan untuk mematuhi lalu lintas. ESP32-Cam berfungsi sebagai penangkap gambar jika telah terjadi pelanggaran penyeberangan dan secara otomatis dikirim ke Bot Telegram. Hasil penelitian diuji menggunakan confusion matrix dan didapatkan nilai accuracy sebesar 83,33%, precision sebesar 83,33%, dan recall sebesar 88,23%.

Kata Kunci: Buzzer, ESP32-Cam, Sensor Infrared Proximity E18-D80NK, Water Spray, Zebra Cross

1. PENDAHULUAN

Trotoar dan zebra cross merupakan salah satu bentuk fasilitas bagi pejalan kaki yang sangat diperlukan untuk menjamin keselamatan dan kenyamanan masyarakat dalam melakukan aktifitasnya sehari-hari sebagai alternatif menuju tempat tujuan (Nugroho, 2018). Tampilan visual zebra cross diwakili oleh marka lajur berupa garis vertikal hitam putih. Zebra cross adalah hak



jalan bagi pejalan kaki dan tidak boleh dilanggar oleh pengemudi lain yang melintas. *Zebra cross* digunakan sebagai sinyal bagi pengemudi agar memperlambat kecepatan pada saat pejalan kaki menyeberang. Setiap pengemudi kendaraan tidak diperkenankan berhenti pada garis *zebra cross* yang memang diperuntukkan untuk pejalan kaki (Rahmawati et al., 2022). Peraturan mengenai tidak berhenti di *zebra cross* sudah diatur dalam Undang-Undang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan (UULAJ) Nomor 22 Tahun 2019 pasal 284 yang berbunyi “Setiap orang yang mengemudikan kendaraan bermotor dengan tidak mengutamakan keselamatan pejalan kaki atau pesepeda sebagaimana yang dimaksud dalam pasal 106 ayat (2) dipidana kurungan paling lama 2 (dua) bulan dan denda sebesar Rp 500.000 (lima ratus ribu rupiah)” (Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009 Tentang Lalu Lintas Dan Angkutan Jalan, 2009) (Alamsyah, 2019).

Namun masih banyak kendaraan yang melanggar peraturan tersebut sehingga menyulitkan pejalan kaki untuk menyeberang jalan karena kendaraan tersebut menghalangi jalan (Rahmawati et al., 2022). Faktor utama yang perlu diperhatikan dalam penyediaan sarana penyeberangan bagi pejalan kaki adalah faktor keselamatan. Sarana tersebut harus mampu menjamin keselamatan pejalan kaki di jalan. Namun pada kenyataannya masih banyak pejalan kaki yang menjadi korban kecelakaan lalu lintas, dikarenakan ketidakpatuhan maupun ketidakdisiplinan pengguna jalan. Peluang dan frekuensi terjadinya kecelakaan dapat diamati dari dua sisi, yaitu dari sisi pengemudi kendaraan bermotor dan pejalan kaki itu sendiri (Widyaningsih & Daniel, 2019).

Kewajiban pejalan kaki untuk menyeberang jalan pada tempat yang telah ditentukan diatur berdasarkan pada pasal 132 Undang Undang Nomor 22 Tahun 2009 (2009) Tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan yang menjelaskan bahwa “Pejalan kaki wajib menggunakan bagian jalan yang diperuntukkan bagi pejalan kaki atau jalan yang paling tepi dan menyeberang jalan di tempat yang telah ditentukan.” Adanya peraturan ini jelas menunjukkan bahwa apabila sudah disediakan atau ditentukan di mana tempat seharusnya khusus bagi pejalan kaki untuk menyeberang jalan. Pejalan kaki yang menyeberang jalan tidak pada tempatnya harus dihukum karena peraturan sudah tertulis dengan jelas dan fasilitas telah disediakan (Embrianto & Sulistyowati, 2020). Namun, seringkali orang mengalami kecelakaan karena faktor dari pejalan kaki tersebut. Menurut data dari WHO (World Health Organization) terdapat 270.000 pejalan kaki meninggal dunia setiap tahunnya atau setara dengan 22% dari seluruh korban meninggal akibat kecelakaan lalu lintas. Sedangkan di Indonesia sendiri, mengutip dari laman Global Road Safety Facility, persentase kematian pejalan kaki akibat kecelakaan lalu lintas sebesar 38% dari total 31.282 kematian di jalan raya yang dilaporkan pada tahun 2016 (Wicaksono et al., 2021).

Kecelakaan tersebut disebabkan karena pejalan kaki yang menyeberang jalan tidak memperhatikan rambu lalu lintas, biasanya karena pandangan mereka teralihkan, misalnya karena terlalu fokus pada ponsel sehingga tidak memperhatikan keadaan sisi kiri dan kanannya sebelum mereka menginjakkan kaki di *zebra cross* tersebut (Yolanda et al., 2021). Berdasarkan permasalahan tersebut, salah satu hal yang dapat dimanfaatkan untuk mengurangi jumlah pelanggaran pengguna jalan pada *zebra cross* yaitu dengan sistem pendeteksi penyeberangan pada *zebra cross*. Penelitian ini dibuat menggunakan ESP32-Cam dan Sensor Infrared Proximity E18-D80NK dengan teknik *water spray* dan *buzzer*. Sensor Infrared Proximity E18-D80NK digunakan untuk mendeteksi objek dalam jarak 3-80 cm secara otomatis pada saat lampu lalu lintas dalam keadaan berwarna hijau, kemudian *water spray* berfungsi sebagai penyemprotan air gunanya untuk memberikan efek visual kepada pejalan kaki dan *buzzer* akan mengeluarkan suara alarm sebagai tanda peringatan untuk pejalan kaki agar mematuhi lalu lintas. ESP32-Cam berfungsi sebagai penangkap gambar jika telah terjadi pelanggaran penyeberangan dan akan secara otomatis dikirim ke aplikasi pesan Telegram melalui Bot Telegram. Selanjutnya, Sensor Infrared Proximity E18-D80NK akan mati secara otomatis jika lampu lalu lintas dalam keadaan berwarna merah dan kuning. Sistem deteksi ini saling berhubungan dengan *traffic light*, dan akan aktif apabila *traffic light* dalam keadaan menyala dan berwarna hijau. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang sebuah sistem pendeteksi pelanggaran penyeberangan yang dibuat untuk pejalan kaki yang akan melewati *zebra cross* dengan bekerja secara otomatis dan

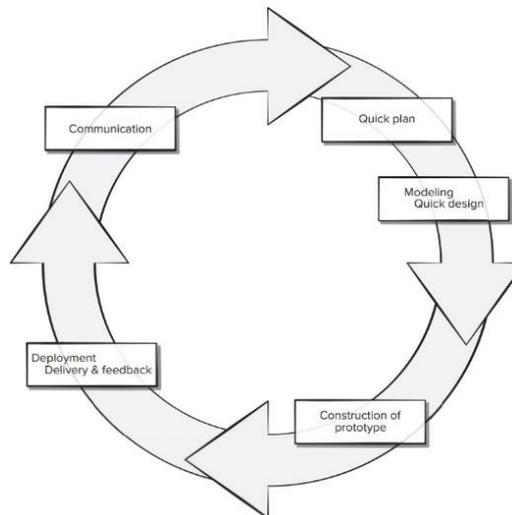


memberikan peringatan secara terus menerus kepada pejalan kaki agar tidak melakukan pelanggaran rambu lalu lintas serta mematuhi peraturan yang ada.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Metode Pengembangan Perangkat

Penelitian ini menggunakan metode pengembangan Prototype yang terdiri dari 5 (lima) tahap yaitu *Communication*, *Quick Plan*, *Modelling Quick Design*, *Construction of Prototype*, dan *Deployment Delivery & Feedback* (Pressman & Maxim, 2019). Gambar 1 merupakan metode pengembangan *Prototype* yang digunakan pada penelitian ini. Langkah pertama tahap yang dilakukan adalah *Communication*, pada tahap ini dilakukan pemikiran terhadap situasi yang ada di sekitar lampu lalu lintas. Seperti halnya pejalan kaki menyeberang pada saat lampu lalu lintas dalam keadaan berwarna hijau dan terkadang pejalan kaki menyeberang dengan pandangan tidak fokus atau pandangan teralih oleh ponsel. Tahapan kedua adalah *Quick Plan*, dari permasalahan yang ada ditentukan rencana bagaimana cara merancang sistem pendeteksi pelanggaran penyeberangan pada *zebra cross* yang mampu mendeteksi secara otomatis dengan teknik *water spray* dan *buzzer*, serta bagaimana cara memberikan peringatan kepada pejalan kaki agar tidak melakukan pelanggaran rambu lalu lintas.



Gambar 1 Metode Pengembangan Prototype

Tahapan ketiga adalah *Modeling Quick Design*, pembuatan rancangan alat-alat yang akan dibuat seperti Sensor Infrared Proximity E18-D80NK yang digunakan untuk mendeteksi objek, *buzzer* digunakan sebagai alarm, modul *traffic light* sebagai acuan sensor aktif dan tidaknya, ESP32-Cam sebagai mikrokontroler, dan *water spray pump* digunakan untuk menyemprotkan air sebagai tanda telah terjadinya pelanggaran. Tahapan keempat adalah *Construction of Prototype*, sistem yang telah selesai dibuat, kemudian akan dilakukan pengujian, apakah sistem tersebut layak digunakan atau tidak. Seperti pengujian deteksi pada sensor infrared terhadap objek, untuk memastikan bahwa sensor telah bekerja. Kemudian pengujian terhadap lampu lalu lintas (*traffic light*), untuk memastikan jika lampu dalam keadaan berwarna hijau maka sensor akan menyala, sedangkan jika lampu dalam keadaan berwarna merah dan kuning, maka sensor akan mati. Dan pengujian terhadap *buzzer* dan *water spray*, untuk memastikan bahwa *buzzer* akan mengeluarkan bunyi alarm dan *water spray* akan menyemprotkan air secara otomatis jika objek melewati sensor yang aktif.

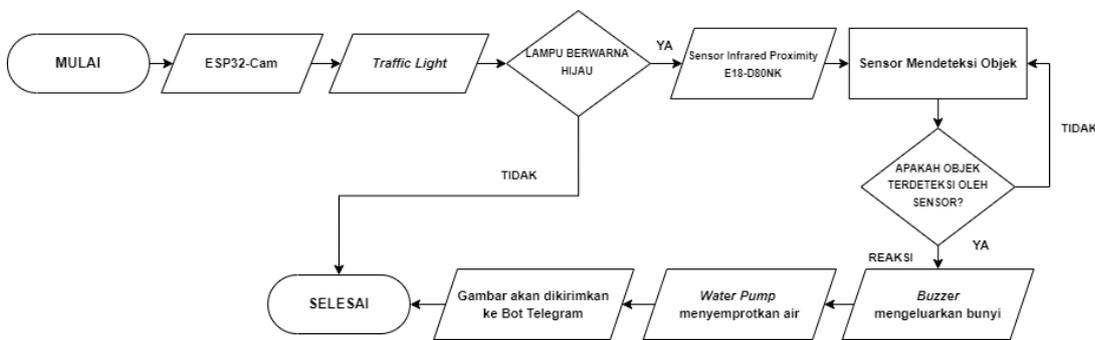
Tahapan kelima adalah *Deployment Delivery & Feedback*, tahap ini merupakan tahap akhir dari pengembangan sistem deteksi pelanggaran penyeberangan pada *zebra cross*. Proses evaluasi bisa didapat pada saat setelah melakukan pengujian oleh penulis. Apabila sistem sudah



mendapatkan kelayakan pada saat pengujian khususnya penentuan presentasi keakuratan untuk melihat kerja Sensor Infrared Proximity E18-D80NK, *water spray*, dan *buzzer* menyala atau tidak.

2.2 Alur Kerja Penelitian

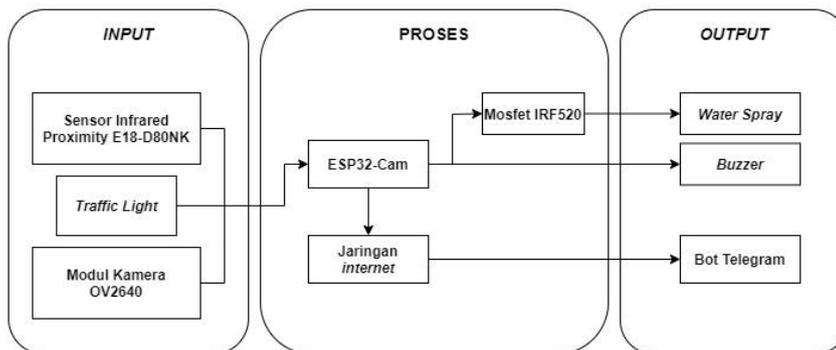
Penelitian ini disusun dengan beberapa langkah yang akan dilakukan secara sistematis. Gambar 2 menjelaskan alur penelitian dari sistem deteksi pelanggaran penyeberangan pada *zebra cross*. ESP32-Cam merupakan proses yang pertama kali saat alat dinyalakan dan terhubung dengan jaringan internet, *traffic light* sebagai acuan sensor aktif dan tidaknya, jika lampu dalam keadaan berwarna hijau maka Sensor Infrared proximity E18-D80NK akan aktif mendeteksi objek pejalan kaki, ketika sensor berhasil mendeteksi maka *water pump* akan menyembrotkan air dan *buzzer* akan mengeluarkan bunyi sebagai tanda pelanggaran penyeberangan telah terjadi. Kemudian hasil deteksi dari sensor yang aktif, maka ESP32-Cam akan menangkap gambar dan dikirimkan ke aplikasi Telegram melalui Bot Telegram.



Gambar 2 Alur Penelitian

2.3 Diagram Blok

Dalam penelitian ini diagram blok menjelaskan proses kerja alat atau sistem sebagai rancangan awal sebelum dibuat. Dengan adanya diagram blok maka semuanya akan terlihat jelas seperti komponen yang digunakan seperti *input*, proses, dan *output* sistem. Adapun diagram blok dari sistem deteksi pelanggaran penyeberangan pada *zebra cross* terdapat pada Gambar 3.



Gambar 3 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem dibagi menjadi 3 (tiga) bagian yaitu *input*, proses, dan *output*. *Input* pada sistem adalah Sensor Infrared Proximity E18-D80NK yang berfungsi untuk mendeteksi suatu objek berupa pejalan kaki yang hendak menyeberang jalan, *Traffic light* sebagai pengontrolan jalannya lalu lintas, dan Modul Kamera OV2640 akan mengidentifikasi objek yang kemudian dilanjutkan mikrokontroler ESP32-Cam. Pada proses, ESP32-Cam akan mengolah data yang diterima dari Sensor Infrared Proximity dengan koneksi dari jaringan internet. Mosfet IRF520



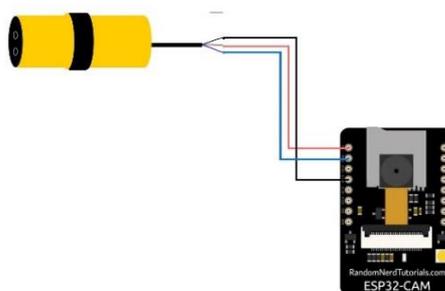
sebagai penggerak pada *water pump* dan *buzzer*. Pada *output*, *water pump* akan menyemburkan air secara otomatis dan *buzzer* akan mengeluarkan suara jika terdeteksi pelanggaran penyeberangan pada *zebra cross*. Kemudian, tangkapan gambar yang telah diterima ESP32-Cam akan dikirimkan ke aplikasi Telegram melalui Bot Telegram.

2.4 Perancangan Perangkat Keras

Tahap perancangan perangkat keras (*hardware*) merupakan tindak lanjut dari Analisa. Tahapan ini menghasilkan suatu perancangan sistem yang diperlukan dalam pendeteksian pelanggaran penyeberangan pada *zebra cross*. Beberapa rangkaian sistem yang digunakan pada penelitian ini dijabarkan dalam berbagai skema berikut.

2.4.1 Skema Rangkaian ESP32-Cam dengan Sensor Infrared Proximity E18-D80NK

Modul ESP32-Cam memiliki dua sisi dalam rangkaian modulnya. Di bagian atas terdapat modul kamera yang dapat dibongkar pasang dan ada microSD yang dapat diisi. Di bagian belakang modul terdapat antena internal, konektor untuk antena eksternal, pin *male* untuk I/O dan ESP32 sebagai otaknya (Mahmuddin et al., 2023). Sensor Infrared Proximity E18-D80NK memiliki tiga kabel dengan rincian kabel biru dihubungkan ke *ground*, kabel coklat dihubungkan ke tegangan 5V, dan kabel hitam dihubungkan ke *out* (Wahyudi & Aziz, 2022). Gambar 4 berikut merupakan skema rangkaian ESP32-Cam dengan Sensor Infrared Proximity E18-D80NK.



Gambar 4 Skema ESP32-Cam dengan Sensor Infrared Proximity E18-D80NK

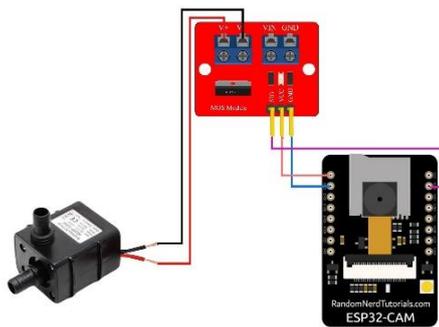
Gambar 4 menjelaskan skema rangkaian dari ESP32-Cam dengan Sensor Infrared Proximity E18-D80NK, konfigurasi ESP32-Cam pin GND dengan Sensor Infrared Proximity E18-D80NK pin GND, konfigurasi ESP32-Cam pin 5V dengan Sensor Infrared Proximity E18-D80NK pin VCC, dan konfigurasi ESP32-Cam pin GPIO 13 dengan Sensor Infrared Proximity E18-D80NK pin *out*.

2.4.2 Skema Rangkaian ESP32-Cam dengan Mosfet IRF520 dan *Water pump*

ESP32-Cam ini memiliki berbagai pin GPIO (*General Purpose Input/Output*) yang dapat diprogram sesuai kebutuhan, pin ini dapat digunakan untuk mengendalikan dan berkomunikasi dengan berbagai perangkat eksternal melalui protokol I2C, SPI, UART, dan PWM (IOTkece, 2021). Mosfet IRF520 ini merupakan modul untuk mempermudah penggunaan transistor Mosfet IRF520 yang *driver* ini memiliki switching time yang tinggi, artinya perubahan dari *low* ke *high* dan sebaliknya sangat cepat, sehingga cocok untuk kontrol *switching* tegangan yang lebih tinggi (Al Khaleidi et al., 2022). *Water pump* ini menggunakan motor DC *brushless* dan bekerja dengan tegangan DC 12V 240L/jam, kelebihan dari *water pump* ini adalah tidak berisik saat digunakan dan aman saat bekerja di air (Ulum et al., 2022).

ESP32-Cam pada Gambar 5 menjelaskan skema rangkaian dari ESP32-Cam dengan Mosfet IRF520 dan *Water pump*, konfigurasi Mosfet IRF520 pin VCC dengan ESP32-Cam pin 5V, konfigurasi Mosfet IRF520 pin GND dengan ESP32-Cam pin GND, konfigurasi Mosfet IRF520 pin SIG dengan ESP32-Cam pin GPIO 16, konfigurasi Mosfet IRF520 pin V+ dengan kabel merah *water pump*, dan konfigurasi Mosfet IRF520 pin V- dengan kabel hitam *water pump*.

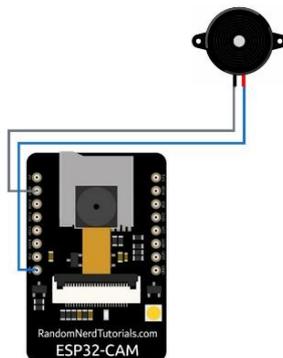




Gambar 5 Skema ESP32-Cam dengan Mosfet IRF520 dan *Water Pump*

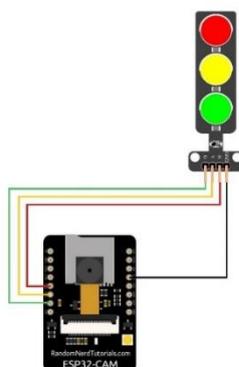
2.4.3 Skema Rangkaian ESP32-Cam dengan *Buzzer*

Buzzer adalah sebuah komponen yang memiliki fungsi mengubah arus listrik menjadi suara. Dan pada dasarnya prinsip kerja *buzzer* hampir sama dengan *speaker*. *Buzzer* terdiri dari sebuah diafragma yang memiliki kumparan. Karena kumparan dipasang pada diafragma maka setiap getaran diafragma secara bolak-balik sehingga membuat udara bergetar dan menghasilkan suara (Prabowo et al., 2020). *Buzzer* biasa digunakan sebagai indikator bahwa proses telah selesai atau terjadi suatu kesalahan pada sebuah alat (alarm) (Hasanah et al., 2021). Gambar 6 menjelaskan skema rangkaian dari ESP32-Cam dengan *buzzer*, konfigurasi ESP32-Cam pin GPIO 4 dengan *buzzer* kaki positif dan konfigurasi ESP32-Cam pin GND dengan *buzzer* kaki negatif.



Gambar 6 Skema ESP32-Cam dengan *Buzzer*

2.4.4 Skema Rangkaian ESP32-Cam dengan *Traffic Light*



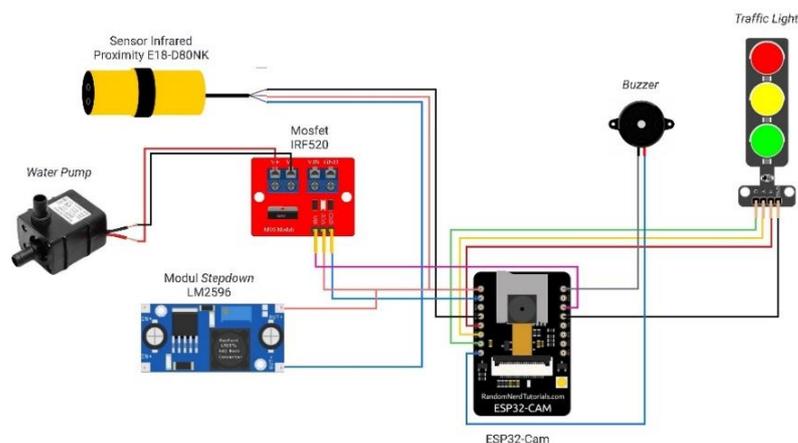
Gambar 7 Skema ESP32-Cam dengan *Traffic Light*



ESP32-Cam adalah mikrokontroler berfitur lengkap yang juga memiliki kamera video terintegrasi dan soket kartu microSD. Ini murah dan mudah digunakan untuk perangkat *Internet of Things* (IoT) yang membutuhkan kamera dengan fungsi-fungsi canggih seperti pelacakan dan pengenalan gambar (Saputra & Darujati, 2020). Fungsi *traffic light* digunakan untuk mengatur perpindahan kendaraan di persimpangan jalan agar tidak terjadi kemacetan (Damayanti et al., 2019). Gambar 7 menjelaskan skema rangkaian dari ESP32-Cam dengan *traffic light*, konfigurasi ESP32-Cam pin GPIO 15 dengan *traffic light* pin Red, konfigurasi ESP32-Cam pin GPIO 14 dengan *traffic light* pin Yellow, konfigurasi ESP32-Cam pin GPIO 2 dengan *traffic light* pin Green, dan konfigurasi ESP32-Cam pin GND dengan *traffic light* pin GND.

2.5 Skema Keseluruhan Rangkaian

Skema ini digunakan untuk mengetahui dan menerangkan keseluruhan model dari penelitian ini. Gambar 8 merupakan komponen-komponen yang telah disusun dan dirangkai untuk membentuk suatu alat atau skema keseluruhan rangkaian dari sistem deteksi pelanggaran penyeberangan pada *zebra cross* dengan teknik *water spray* dan *buzzer* menggunakan ESP32-Cam dan Sensor Infrared Proximity E18-D80NK yang terdapat dalam Gambar 8.



Gambar 8 Skema Keseluruhan Rangkaian

Berdasarkan Gambar 8 merupakan skema rangkaian seperti ESP32-Cam digunakan sebagai penangkap jaringan internet dan penangkap gambar pada saat ada objek atau pejalan kaki yang melanggar, Sensor Infrared Proximity E18-D80NK sebagai sensor untuk mendeteksi objek yaitu pejalan kaki yang akan menyeberang jalan pada *zebra cross*, *buzzer* digunakan untuk mengeluarkan bunyi atau alarm apabila terdeteksi terjadinya pelanggaran, *Water pump* digunakan untuk menyemprotkan air pada saat terdeteksinya pelanggaran, *traffic light* digunakan sebagai lampu lalu lintas. Pada saat lampu dalam keadaan berwarna hijau maka Sensor Infrared Proximity E18-D80NK, *water spray*, dan *buzzer* akan menyala. Kemudian apabila lampu dalam keadaan berwarna merah dan kuning maka Sensor Infrared Proximity E18-D80NK akan mati secara otomatis. Mosfet IRF520 digunakan untuk mengontrol *switching* tegangan dan untuk mendorong beban DC. Modul Stepdown LM2596 digunakan untuk level tegangan arus searah (DC) di bawah tegangan *input*.

2.6 Pengujian

Pada tahap ini dilakukan pengujian sistem menggunakan pengujian *black box* pada *hardware* dengan cara menguji setiap proses yang terjadi pada sistem dan untuk mengetahui keberhasilan sistem berjalan sesuai dengan yang diinginkan. Kemudian untuk mengetahui *delay* pada sistem, dilakukan pengujian *delay* menggunakan *stopwatch*. Sedangkan untuk mengetahui nilai *accuracy*, *precision*, dan *recall* dilakukan pengujian *Confusion matrix*. *Accuracy* menggambarkan seberapa akurat data mengklasifikasikan dengan benar. *Precision* menggambarkan tingkat



keakuratan antara data yang diinginkan dengan hasil prediksi yang diberikan. Dan *recall* menggambarkan keberhasilan data dalam menemukan kembali sebuah informasi (Düntsche & Gediga, 2019). Dalam *Confusion matrix* digunakan data *testing* sebanyak 30 kali percobaan. *Confusion matrix* dihitung dengan cara melakukan kalkulasi nilai jumlah dari *True Positive*, *True Negative*, *False Positive*, dan *False Negative*. Dengan begitu dapat diperoleh nilai *accuracy*, *precision*, dan *recall* tersebut.

2.7 Evaluasi

Tahapan terakhir dalam penelitian ini yaitu evaluasi. Hasil pengujian yang telah didapatkan akan dihitung untuk diketahui bagaimana kemampuan sistem dalam melakukan pendeteksian pelanggaran penyeberangan pada *zebra cross*. Perhitungan evaluasi menggunakan *confusion matrix* untuk menghitung nilai *accuracy*, *precision*, dan *recall*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini perangkat keras (*hardware*) berfungsi untuk memasukkan data ke *processor* atau untuk menyimpan dan menghasilkan data. Bagian dari perangkat keras (*hardware*) harus saling terhubung agar perintah yang diberikan oleh *processor* dapat berjalan sesuai dengan fungsinya. Gambar 9 merupakan *prototype* rangkaian perangkat keras (*hardware*).



Gambar 9 Prototype Rangkaian Perangkat Keras

Gambar 9 merupakan perakitan rangkaian perangkat keras (*hardware*). Pada pembentukan rangkaian ini di bagian atas terdapat komponen berupa ESP32-Cam, *traffic light*, Sensor Infrared Proximity E18-D80NK, *buzzer*, *water spray*, dan mainan pejalan kaki sebagai objek simulasi. Kemudian pada bagian bawah terdapat komponen berupa pompa air, stepdown LM2596, dan mosfet IRF520.

Pengujian penelitian ini dilakukan dengan pengujian *black box* terhadap komponen dari sistem deteksi pelanggaran penyeberangan pada *zebra cross*. Tabel 1 merupakan hasil dari pengujian *black box* alat seperti Sensor Infrared Proximity E18-D80NK aktif saat mendeteksi objek yang melanggar penyeberangan, *traffic light* sebagai pengontrol jalannya lalu lintas, ESP32-Cam sebagai mikrokontroler sekaligus penangkap gambar, *water spray* dan *buzzer* dapat bekerja dengan baik pada saat terdeteksinya pelanggaran penyeberangan pada *zebra cross* terjadi. Dengan begitu hasil pengujian menggunakan *black box* ini sistem dapat berjalan baik dan tidak ditemukan masalah.

Pada penelitian ini dilakukan pula pengujian menggunakan *stopwatch* terhadap komponen *output* seperti *water spray* dan *buzzer* sebagai pendeteksi pelanggaran penyeberangan pada *zebra cross* pada cuaca cerah. Tabel 2 adalah pengujian *delay respon water spray* dan *buzzer*. Berdasarkan Tabel 2 dilakukan pengujian *delay respon* menggunakan *stopwatch* dan dengan percobaan sebanyak 10 kali pelanggaran. Dari hasil perhitungan tersebut, didapatkan nilai



terendah pada *delay* respon *water spray* 0,87 detik, dan nilai terendah pada *delay* respon *buzzer* 0,84 detik. Kemudian didapatkan nilai tertinggi pada *delay* respon *water spray* 1,01 detik, dan nilai tertinggi pada *delay* respon *buzzer* 0,93 detik. Lalu didapatkan untuk rata-rata *delay* keseluruhan pada saat terjadi pelanggaran penyeberangan pada *zebra cross* adalah 0,85 detik.

Tabel 1 Pengujian *Black Box*

No.	Pengujian	Pengamatan	Hasil	Keterangan
1	Sensor Infrared Proximity E18-D80NK	Sensor Infrared Proximity E18-D80NK dapat mendeteksi objek yaitu pejalan kaki yang melanggar penyeberangan pada saat lampu lalu lintas dalam keadaan berwarna hijau.	Berhasil	Ketika objek yaitu pejalan kaki melewati Sensor Infrared Proximity E18-D80NK, maka LED pada Sensor Infrared Proximity E18-D80NK akan menyala dan Sensor Infrared Proximity E18-D80NK berada pada kondisi <i>HIGH</i> . Jika tidak ada yang melewati Sensor Infrared Proximity E18-D80NK, maka LED pada Sensor Infrared Proximity E18-D80NK mati.
2	<i>Traffic Light</i>	LED merah menyala selama 5 detik, LED kuning menyala selama 1 detik, dan LED hijau menyala selama 10 detik.	Berhasil	<i>Traffic light</i> sebagai pengontrolan jalannya lalu lintas. LED merah dan kuning menyala sebagai tanda Sensor Infrared Proximity E18-D80NK mati, maka objek pejalan kaki dapat menyeberang. Sedangkan jika LED hijau menyala maka Sensor Infrared Proximity E18-D80NK akan aktif dan objek pejalan kaki tidak dapat menyeberang.
3	ESP32-Cam	ESP32-Cam dapat menangkap gambar objek pejalan kaki pada saat terdeteksi pelanggaran penyeberangan dan gambar dikirim melalui Bot Telegram.	Berhasil	ESP32-Cam dapat menangkap gambar pada saat objek pejalan kaki terdeteksi oleh Sensor Infrared Proximity E18-D80NK dalam keadaan ON. Hasil tangkapan gambar akan ditampilkan melalui Bot Telegram.
4	<i>Water Spray</i>	<i>Water spray</i> dapat menyemprotkan air pada saat terdeteksinya objek pejalan kaki melanggar penyeberangan pada <i>zebra cross</i> .	Berhasil	Pada saat lampu lalu lintas dalam keadaan berwarna merah dan kuning, maka <i>water spray</i> dalam keadaan OFF. Lalu pada saat lampu lalu lintas dalam keadaan berwarna hijau, maka <i>water spray</i> dalam keadaan ON.

Pengujian interaksi ESP32-Cam dengan Bot Telegram, tujuannya untuk mengetahui kecepatan ESP32-Cam dalam menangkap gambar suatu pelanggaran kemudian dikirimkan melalui Bot Telegram pada saat terjadinya pelanggaran penyeberangan pada *zebra cross*. Tabel 3 merupakan pengujian interaksi ESP32-Cam dengan Bot Telegram. Berdasarkan Tabel 3 diketahui ESP32-Cam berhasil menangkap gambar dan Bot Telegram berhasil mengirim gambar pelanggaran pada *zebra cross*. Pengujian *delay* pengiriman gambar ESP32-Cam dengan Bot Telegram menggunakan *stopwatch* dengan percobaan sebanyak 10 kali pelanggaran. Dari hasil perhitungan tersebut, didapatkan nilai terendah pada *delay* pengiriman gambar Bot Telegram 4,44 detik dan didapatkan nilai tertinggi pada *delay* pengiriman gambar Bot Telegram 4,86 detik. Kemudian diketahui untuk rata-rata *delay* keseluruhan pengiriman gambar Bot Telegram adalah



4,65 detik. Kecepatan pengiriman gambar cepat atau lambat bergantung pada kondisi jaringan internet.

Tabel 2 Pengujian Delay Respon Water Spray dan Buzzer

No.	Banyaknya Pelanggaran	Delay Respon Water Spray (detik)	Delay Respon Buzzer (detik)
1	Pelanggaran 1	0,80	0,79
2	Pelanggaran 2	0,82	0,82
3	Pelanggaran 3	0,84	0,84
4	Pelanggaran 4	0,90	0,88
5	Pelanggaran 5	0,80	0,73
6	Pelanggaran 6	0,83	0,83
7	Pelanggaran 7	0,87	0,85
8	Pelanggaran 8	0,90	0,90
9	Pelanggaran 9	0,99	0,90
10	Pelanggaran 10	1,01	0,93
Rata-rata Delay		0,87	0,84

0,85

Tabel 3 Pengujian Interaksi ESP32-Cam Dengan Bot Telegram

Banyaknya Pelanggaran	ESP2-Cam	Bot Telegram	Delay Mengirim Gambar (detik)
Pelanggaran 1	Menangkap Gambar	Gambar Terkirim	4,71
Pelanggaran 2	Menangkap Gambar	Gambar Terkirim	4,61
Pelanggaran 3	Menangkap Gambar	Gambar Terkirim	4,44
Pelanggaran 4	Menangkap Gambar	Gambar Terkirim	4,84
Pelanggaran 5	Menangkap Gambar	Gambar Terkirim	4,48
Pelanggaran 6	Menangkap Gambar	Gambar Terkirim	4,56
Pelanggaran 7	Menangkap Gambar	Gambar Terkirim	4,64
Pelanggaran 8	Menangkap Gambar	Gambar Terkirim	4,78
Pelanggaran 9	Menangkap Gambar	Gambar Terkirim	4,66
Pelanggaran 10	Menangkap Gambar	Gambar Terkirim	4,86
Rata-rata Delay			4,65

Pengujian untuk akurasi dilakukan menggunakan *confusion matrix* dengan acuan 4 (empat) keadaan umum yang digunakan sebagai tolak ukur dalam pengujian ini, yaitu *True Positive* (TP) adalah keadaan di saat sistem mendeteksi adanya pelanggaran penyeberangan ketika terjadi pelanggaran penyeberangan, *True Negative* (TN) adalah keadaan di saat sistem tidak mendeteksi pelanggaran penyeberangan ketika tidak terjadi pelanggaran penyeberangan, *False Positive* (FP) adalah keadaan di saat sistem mendeteksi pelanggaran penyeberangan ketika tidak terjadi pelanggaran penyeberangan, dan *False Negative* (FN) adalah keadaan di saat sistem tidak mendeteksi pelanggaran penyeberangan ketika terjadi pelanggaran penyeberangan.

Dilakukan sebanyak 30 kali percobaan, sistem memprediksi adanya 17 pejalan kaki yang terdeteksi melanggar penyeberangan dan yang diprediksi tidak terdeteksi sebanyak 2 pejalan



kaki. Dan dari 13 pejalan kaki yang tidak terdeteksi pelanggaran penyeberangan, model memprediksi ada 3 pejalan kaki yang diprediksi melanggar penyeberangan. Pernyataan tersebut dapat terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Confusion Matrix

N = 30	Aktual Positif (+)	Aktual Negatif (-)
Prediksi Positif (+)	15 TP	3 FP
Prediksi Negatif (-)	2 FN	10 TN

Berdasarkan Tabel 4 telah dilakukan sebanyak 30 percobaan maka didapatkan aktual positif dan prediksi positif sebanyak 15 TP, aktual negatif dan prediksi positif 3 TP, aktual positif dan prediksi negatif 2 FN, dan aktual negatif dan prediksi negatif 10 TN. Setelah diketahui jumlah dari data yang benar diprediksi maupun yang salah diprediksi dapat dilakukan kalkulasi untuk mengetahui *accuracy*, *precision*, dan *recall* dari seluruh data tersebut. Setelah diketahui jumlah data dari aktual positif, aktual negatif, prediksi positif, dan prediksi negatif dapat dilakukan perhitungan pada Tabel 5 untuk mengetahui *accuracy*, *precision*, dan *recall* dari pendeteksian pelanggaran penyeberangan pada *zebra cross*.

Tabel 5 Hasil Perhitungan Confusion Matrix

Aktual dan Prediksi (%)	
<i>Accuracy</i>	0,8333
<i>Precision</i>	0,8333
<i>Recall</i>	0,8823

Pengamatan yang dilakukan dari Tabel 5 hasil perhitungan *confusion matrix* untuk pendeteksian pelanggaran penyeberangan pada *zebra cross* diperoleh nilai *accuracy* sebesar 83,33%, kemudian diperoleh nilai *precision* sebesar 83,33%, dan diperoleh nilai *recall* sebesar 88,23%. Berdasarkan hasil yang telah diperoleh dapat disimpulkan bahwa nilai *accuracy*, *precision*, dan *recall* sudah baik, sehingga sistem deteksi pelanggaran penyeberangan pada *zebra cross* dapat melakukan pendeteksian dengan baik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pada hasil pembahasan dan hasil pengujian, sistem dapat mendeteksi pelanggaran penyeberangan dan bekerja dengan baik apabila terhubung dengan jaringan internet yang stabil. Sensor Infrared Proximity E18-D80NK dapat mendeteksi objek pada saat lampu lalu lintas berwarna hijau, *water spray* dapat menyemprotkan air, dan *buzzer* dapat mengeluarkan suara pada saat terjadinya pelanggaran penyeberangan. Selanjutnya kamera dapat menangkap gambar dan dikirim ke Bot Telegram. Dari hasil perhitungan menggunakan pengujian *confusion matrix* didapatkan nilai *accuracy* sebesar 83,33%, nilai *precision* sebesar 83,33%, dan nilai *recall* sebesar 88,23%. Pada sistem ini masih terdapat kekurangan sehingga diperlukan pengembangan dan penelitian lebih lanjut untuk penyempurnaannya, seperti dapat memfokuskan pada teknologi baru untuk meningkatkan akurasi pelanggaran penyeberangan seperti menggunakan kamera CCTV yang memiliki fitur AI (*Artificial Intelligence*) guna mengidentifikasi pada pendeteksian objek pejalan kaki saja. Penelitian ini dapat dikembangkan menggunakan dua atau lebih sampel sensor untuk mendeteksi objek dari berlawanan arah dengan kondisi cuaca yang berbeda-beda seperti cerah dan hujan sehingga menambah keakuratan dari sistem ini. Bot Whatsapp dapat dikembangkan lebih lanjut karena hampir semua orang menggunakan aplikasi ini.

DAFTAR PUSTAKA

Al Khaledi, M. T., Nasri, N., & Hanafi, H. (2022). Rancang Bangun Sistem Rumah Pintar Menggunakan Platform Google Firebase Berbasis IoT (Internet of Things). *Jurnal TEKTR0*, 6(2), 194–202. <https://doi.org/10.30811/TEKTR0.V6I2.3732>



- Alamsyah, I. E. (2019). *Ingat, Berhenti di Zebra Cross adalah Pelanggaran!* Republika Online. <https://www.republika.co.id/berita/pvk34i349/ingat-berhenti-di-emzebra-crossem-adalah-pelanggaran>
- Damayanti, F. P., Riyadi, M. A., & Andromeda, T. (2019). Perancangan Traffic Light Menggunakan Modul Field Programmable Gate Array Xilinx Nexys 3. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 7(2), 678–685. <https://doi.org/10.14710/TRANSIENT.V7I2.678-685>
- Düntsche, I., & Gediga, G. (2019). Confusion Matrices and Rough Set Data Analysis. *Journal of Physics: Conference Series*, 1229(1), 012055. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1229/1/012055>
- Embrianto, S. E., & Sulistyowati, E. (2020). Pengawasan Terhadap Pejalan Kaki yang Tidak Menyeberang di Tempat Penyeberangan Pejalan Kaki di Kota Surabaya. *NOVUM: JURNAL HUKUM*, 7(3). <https://doi.org/10.2674/NOVUM.V7I3.32321>
- Hasanah, U., Subito, M., & Indrajaya, M. A. (2021). Rancang Bangun Prototype Sistem Pendeteksi Pelanggaran pada Zebra Cross di Lampu Lalu Lintas Berbasis Arduino. *Foristek*, 11(1), 1–7. <https://doi.org/10.54757/fs.v11i1.31>
- IOTkece. (2021). *Apa itu ESP32? Spesifikasi ESP32*. IOTkece. <https://iotkece.com/apa-itu-esp32-spesifikasi-esp32/>
- Mahmuddin, A., Febryan, A., Adriani, A., & Rahmania, R. (2023). Rancang Bangun Sistem Keamanan Rumah Berbasis Telegram Menggunakan ESP 32 Cam. *VERTEX ELEKTRO*, 15(1), 64–71. <https://journal.unismuh.ac.id/index.php/vertex/article/view/10246>
- Nugroho, Y. A. (2018). Keamanan Dan Kenyamanan Trotoar Di Taman Tingkir, Kota Salatiga. *Mintakat: Jurnal Arsitektur*, 19(1), 35–48. <https://doi.org/10.26905/mintakat.v19i1.1440>
- Prabowo, R. R., Kusnadi, K., & Subagio, R. T. (2020). Sistem Monitoring dan Pemberian Pakan Otomatis pada Budidaya Ikan Menggunakan Wemos dengan Konsep Internet of Things (IoT). *Jurnal Digit*, 10(2), 185. <https://doi.org/10.51920/jd.v10i2.169>
- Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2019). *Software Engineering: A Practitioner's Approach* (9th ed.). McGraw Hill. https://www.researchgate.net/publication/336251012_Software_Engineering_A_Practitioner's_Approach_9th_Edition
- Rahmawati, Y., Simanjuntak, I. U. V., & Simorangkir, R. B. (2022). Rancang Bangun Purwarupa Sistem Peringatan Pengendara Pelanggar Zebra Cross Berbasis Mikrokontroler ESP-32 CAM. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 4(2), 189–195. <https://doi.org/10.37905/jjee.v4i2.14499>
- Saputra, A. F., & Darujati, C. (2020). Sistem Presensi Mahasiswa Berbasis Realtime Kamera Metode Klasifikasi Haar. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 9(3), 137–144. <https://doi.org/10.35793/JTEK.V9I3.29488>
- Ulum, Moch. B., Lutfi, Moch., & Faizin, A. (2022). Otomatisasi Pompa Air Menggunakan NodeMCU ESP8266 Berbasis Internet of Things (IoT). *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 6(1), 86–93. <https://doi.org/10.36040/jati.v6i1.4583>
- Wahyudi, M. I., & Aziz, R. A. (2022). Keran Air Wudhu Otomatis Menggunakan Sensor Infrared Sebagai Upaya Meminimalisasi Pemborosan Air. *Journal of Applied Computer Science and Technology*, 3(1), 151–156. <https://doi.org/10.52158/jacost.v3i1.296>
- Wicaksono, A., Purnomo, M. H., & Yuniarno, E. M. (2021). Deteksi Pejalan Kaki pada Zebra Cross untuk Peringatan Dini Pengendara Mobil Menggunakan Mask R-CNN. *Jurnal Teknik ITS*, 10(2), A497–A503. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i2.80219>
- Widyaningsih, N., & Daniel, O. (2019). Analisis Karakteristik dan Perilaku Penyeberangan Orang pada Fasilitas Penyeberangan Zebra Cross dan Pelican Cross (Studi Kasus Ruas Jalan M. H. Thamrin). *Jurnal Pengembangan Rekayasa Dan Teknologi*, 15(1), 27–32. <https://doi.org/10.26623/jprt.v15i1.1486>
- Yolanda, M., Rahmat, B., & Hertina, S. N. (2021). Pendeteksi Pelanggaran Penyeberang Jalan pada Zebra Cross Berbasis Internet of Things. *EProceedings of Engineering*, 8(5), 5211–5220. <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/15850>

