

Pendeteksi Pelanggaran Lalu Lintas Kendaraan Lawan Arah berbasis Sensor Ultrasonik

DARMAWAN HIDAYAT, FADHIL BOMA NAUFAL, NENDI SUHENDI SYAFEI

Departemen Teknik Elektro, Universitas Padjadjaran
Email¹: darmawan.hidayat@unpad.ac.id

Received 2 Juni 2022 | *Revised* 14 Juli 2022 | *Accepted* 21 Juli 2022

ABSTRAK

Pelanggaran lalu lintas lawan arah kendaraan sepeda motor adalah pelanggaran yang banyak terjadi. Hal ini kerap menimbulkan korban. Makalah ini melaporkan prototipe sensor untuk deteksi pelanggaran lalu lintas lawan arah kendaraan sepeda motor di area lalu lintas Universitas Padjadjaran (Jatinangor) untuk keperluan pengelola dalam pengaturan lalu lintas kampus. Sistem sensor dibangun dari dua buah sensor ultrasonik (MB1030 MaxSonar EZ-3) untuk membaca arah pergerakan kendaraan. Sensor kendaraan mendeteksi pola spasial dan temporal gerakan kendaraan yang melintas. Pola pembacaan sensor ultrasonik diproses oleh mikrokontroler ATmega 328P dan hasilnya ditampilkan pada peraga LCD dan peraga buzzer. Data yang ditampilkan berupa jumlah pelanggaran lawan arah dan indikasi bunyi. Berdasarkan hasil pengujian, sistem dapat mendeteksi pelanggaran lawan arah sebesar 87,14%. Sistem ini juga dapat membedakan objek yang melintas antara kendaraan motor dengan pejalan kaki. Secara keseluruhan, sistem yang dibangun berfungsi sesuai rancangan untuk mendeteksi pelanggaran kendaraan sepeda motor lawan arah.

Kata kunci: lawan arah, ultrasonik, kirim-pantul, spasial-temporal, mikrokontroler

ABSTRACT

Opposite direction traffic violations are the most occurrences of traffic violations. This often causes fatal human injuries. This paper reports a design of sensor for detection of opposite direction traffic violations of motorcycle vehicles in the internal traffic area of Universitas Padjadjaran, Jatinangor campus, for in-campus traffic management purposes. The sensor system is built from two ultrasonic sensors (MB1030 MaxSonar EZ-3) to detect the direction of vehicle object movement. The sensors detect the direction according to the spatial and temporal patterns. The ultrasonic sensor reading pattern is processed by the ATmega 328P microcontroller and the results are displayed on an LCD and a sound buzzer. The displayed parameter is the number of opposite direction violation and a beep sound. Based on the testing results, the system can detect a violation of the opposite direction by 87.14%. This system enables to distinguish motor vehicles and pedestrians objects. In conclusion, the system functions as designed to detect violations of motorcycle in the opposite direction.

Keywords: traffic violation, ultrasonic sensors, pulse-echo, spatial-temporal, microcontroller

1. PENDAHULUAN

Keselamatan berlalu lintas menjadi aspek penting dalam dunia transportasi dunia, khususnya Indonesia. Sebagian besar kecelakaan lalu lintas disebabkan oleh kelalaian pengemudi, seperti: menurunnya konsentrasi dan fokus pengemudi karena melakukan aktivitas lain di dalam kendaraan dan faktor kelelahan. Dalam hal ini, contoh mayoritas pelanggaran lalu lintas yang terjadi adalah lawan arah (**Mampilayil, 2019**) (**Sushmitha, dkk, 2020**), ngebut dan melanggar rambu-rambu lalu lintas (**Hajeb, dkk, 2013**) (**Al-shabibi, dkk, 2014**) (**Goma, dkk, 2020**) (**Kulanthayan, dkk, 2007**), yang terjadi mungkin secara sengaja maupun secara tidak disengaja atau karena kurang konsentrasi pengemudi.

Sekarang ini, bidang transportasi negara Indonesia berkembang sangat pesat, tampak dari peningkatan jumlah kendaraan di jalan raya dan perkembangan infrastruktur lalu lintas transportasi. Seiring bertambahnya jumlah kendaraan di jalan raya, resiko terjadinya pelanggaran lalu lintas sehingga menimbulkan kecelakaan lalu lintas semakin meningkat pula.

Terdapat hubungan antara kepatuhan pengemudi, kehadiran polisi lalu lintas dan kecelakaan lalu lintas (**Feng, dkk, 2020**). Kehadiran polisi lalu lintas di jalan raya menjadi faktor penting dalam penegakkan peraturan lalu lintas, yang pada akhirnya dapat mengurangi bahkan menghindari kecelakaan lalu lintas. Ketidakhadiran polisi lalu lintas di sekitar tempat kejadian cenderung membuat pengemudi berani melakukan pelanggaran lalu lintas meskipun sanksi pelanggaran lalu lintas termasuk berat yang diatur dalam UU no 22 tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan (LLAJ).

Salah satu pelanggaran lalu lintas yang dapat menyebabkan kecelakaan adalah pelanggaran melawan arah oleh pengemudi kendaraan sepeda motor. Pelanggaran ini umumnya terjadi karena ketidaktersediaannya aparat yang berjaga di area tersebut (**Sushmitha, dkk, 2020**). Pada kondisi ini, pengendara cenderung berani melakukan pelanggaran melawan arah arus lalu lintas. Hal ini dapat dipahami karena ketersediaan aparat dan luasnya daerah kerja sehingga aparat tidak selamanya berada di tempat yang rawan pelanggaran lawan arah. Di Kampus Universitas Padjadjaran Jatinangor pelanggaran ini juga banyak terjadi meskipun pihak manajemen kampus telah mengatur lalu lintas dalam kampus jalan satu-arah dan jalan dua-arah, dengan memasang rambu-rambu lalu lintas. Hampir sebagian besar pelanggar lawan arah adalah pengendara sepeda motor. Beberapa kecelakaan lalu lintas akibat pelanggaran ini juga terjadi. Hal ini juga terjadi karena kurangnya kepatuhan pengemudi dan keterbatasan ketersediaan jumlah dan waktu aparat (sentinel) untuk menjaga lalu lintas kampus. Oleh karena itu, diperlukan suatu teknologi yang dapat mendeteksi kejadian pelanggaran lawan arah untuk mengatasi masalah ketersediaan aparat lalu lintas dan untuk keperluan penindakan hukum atas terjadinya pelanggaran ini, meningkatkan kepatuhan hukum pengemudi dalam berlalu lintas, yang pada akhirnya nanti dapat menghindari atau meminimalkan kecelakaan lalu lintas.

Terdapat beberapa metode yang dilaporkan untuk deteksi pelanggaran lalu lintas seperti pelanggaran batas kecepatan maksimal, pelanggaran rambu lalu lintas, pelanggaran lawan arah, dan pelanggaran parkir. Sistem-sistem tersebut dapat mendukung sistem manajemen pemantauan dan pengendalian lalu lintas oleh otoritas, karena sistem-sistem tersebut dilengkapi dengan teknologi fitur deteksi, peringatan, penampilan hingga perekaman kejadian-kejadian di lalu lintas jalan raya.

Pelanggaran batas kecepatan maksimal dapat dideteksi menggunakan teknik pengolahan citra dan *computer vision* (**Aliane, dkk, 2014**) (**Bedruz, dkk, 2018**) (**Prakash, dkk, 2020**), deteksi pelanggaran rambu lampu lalu lintas menggunakan teknologi *computer vision* (**Goma,**

dkk, 2020) (Kulanthayan, dkk, 2007) (Bolsunovskaya, dkk, 2021), deteksi pelanggaran parkir menggunakan teknologi pemrosesan citra **(Sushmitha, dkk, 2020)**, deteksi pelaku pelanggaran melalui pengenalan pelat nomor kendaraan **(Agarwal, dkk, 2018)**. Deteksi pelanggaran lawan arah kendaraan selain roda-empat, juga terdapat metode untuk deteksi kendaraan roda-tiga, menggunakan metode video pengawasan **(Mampilayil, 2019) (Sushmitha, dkk, 2020)**. Teknologi RFID juga digunakan untuk deteksi pelanggaran kecepatan kendaraan **(Hajeb, dkk, 2013) (Al-shabibi, dkk, 2014)**. Selain itu, sensor ultrasonik **(Aseem, 2019) (Liu, dkk, 2015)** juga digunakan untuk deteksi pelanggaran lalu lintas lawan arah kendaraan. Teknologi berbasis ultrasonik lebih murah, efisien dalam implementasi algoritma kerja, dan andal digunakan untuk keperluan ini **(Appiah, dkk, 2020) (Chaware, S. & Chaware, T., 2019) (Li, dkk, 2019)**. Dibandingkan dengan teknologi berbasis gelombang ultrasonik, teknologi berbasis pengolahan citra dan *computer vision* memerlukan perangkat lunak, perangkat keras dan infrastruktur yang mumpuni, serta proses perawatan yang cukup rumit, sehingga pada akhirnya menyebabkan biaya yang relatif mahal untuk diimplementasikan. Juga teknologi GSM dapat dimanfaatkan untuk deteksi batas kecepatan kendaraan dalam lalu lintas **(Sarowar & Shende, 2015)**. Bahkan beberapa metode dilaporkan dapat mendeteksi kejadian kecelakaan lalu lintas di lokasi yang relatif jauh **(Sheikh, dkk, 2020)**.

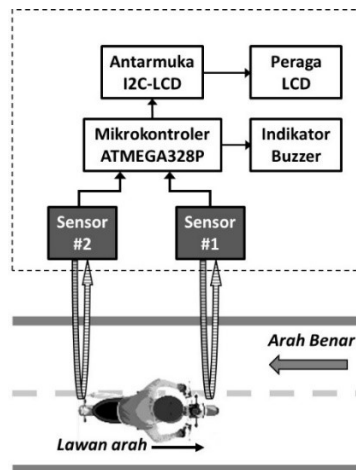
Dalam penerapannya, deteksi objek bergerak cepat dan panjangnya area deteksi menjadi kendala dalam implementasi teknologi-teknologi tersebut. Hal ini berimplikasi pada besarnya biaya untuk pembangunan infrastruktur teknologi tersebut. Oleh karena itu, perlu dikembangkan suatu sistem teknologi sensor yang relatif praktis dan murah untuk diimplementasikan pada cakupan jalan raya yang panjang. Tujuan makalah ini adalah untuk melaporkan pengembangan sensor deteksi kecepatan dan arah gerak kendaraan sepeda motor, dengan menggunakan sepasang sensor ultrasonik yang bekerja berdasarkan prinsip kirim-pantul. Sistem sensor ini juga dilengkapi teknologi *Internet of Things* (IoT) sebagai pendukung sistem untuk implementasi di area kampus **(Alfarid, dkk, 2021)**. Untuk kedepannya, teknologi ini diimplementasikan di dalam lalu lintas Kampus Universitas Padjadjaran, Sumedang, untuk pemantauan dan perekaman kejadian pelanggaran lalu lintas lawan arah. Selanjutnya, data ini dapat digunakan sebagai dasar rekayasa lalu lintas untuk menghindari dan minimalisir pelanggaran dan kecelakaan lalu lintas di dalam kampus. Berdasarkan uraian di atas, tujuan dari penelitian ini adalah merancang alat pendeteksi melawan arah dengan sensor ultrasonik yang merupakan sensor jarak di lingkungan Universitas Padjadjaran.

2. METODE

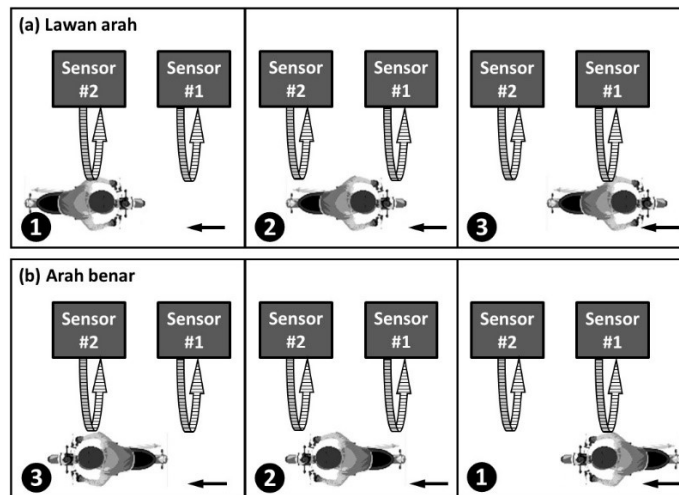
2.1 Blok Diagram Sistem

Diagram blok sistem pendeteksi pelanggaran lalu lintas lawan arah diilustrasikan pada Gambar 1. Sistem ini dibangun dari beberapa blok komponen, yaitu: dua buah sensor ultrasonik (MB1030, LV-MaxSonar-EZ3), pengontrol terprogram (ATMega2560), I2C modul dan LCD (sebagai modul peraga), dan *active buzzer* (untuk indikator bunyi). Di mana setiap blok memiliki fungsinya masing-masing. Karena yang dideteksi sebenarnya adalah arah pergerakan (translasi) sepeda motor, maka diperlukan dua sensor ultrasonik untuk pembacaan arah pergerakan dengan cara mendeteksi urutan kemunculan pulsa dari masing-masing sensor. Pemilihan sensor modul MB1030 berdasarkan pertimbangan keunggulannya yaitu dimensi kecil dan ringan kurang dari 1 inci, frekuensi 42 kHz, jangkauan pengukuran jarak objek relatif jauh 645 cm, tersedia tiga pilihan sinyal keluaran modul analog, RS232 dan lebar pulsa.

Ilustrasi kerja sensor untuk deteksi pergerakan sepeda motor lawan arah dan arah benar dapat dilihat pada Gambar 2. Perbedaan utama antara objek kendaraan motor dan manusia adalah panjangnya. Kendaraan motor rata-rata memiliki panjang lebih dari satu meter namun kurang dari dua meter. Sedangkan manusia memiliki panjang yang kurang dari satu meter. Dari perbedaan dimensi tersebut, digunakan dua modul sensor ultrasonik yang masing-masing dipisahkan sejauh 1 m sehingga dapat membedakan objek kendaraan motor dan manusia. Dengan menggunakan dua modul sensor ultrasonik, pola spasial dan temporal pembacaan sensor ketika motor melintas dan manusia berbeda. Selain itu, pola pembacaan sensor ketika terdapat motor melawan arah dan motor yang melintas sesuai arah yang berlaku dapat dibedakan.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem



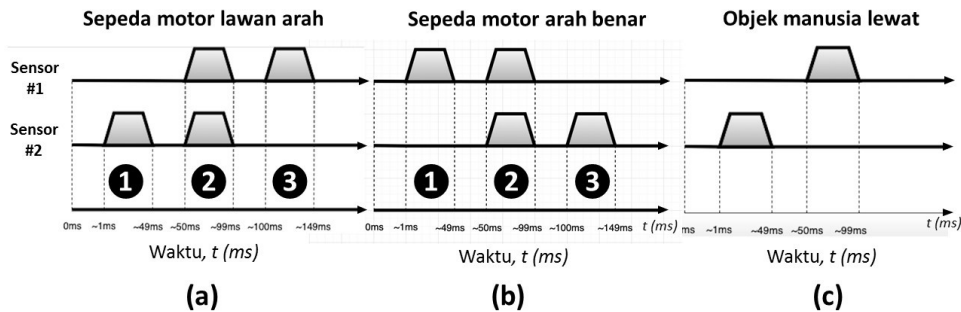
Gambar 2. Ilustrasi Pembacaan Sensor 1 dan 2 Terhadap Posisi Sepeda Motor Kondisi (A) Lawan Arah dan (B) Arah Benar

Jarak deteksi sensor terhadap objek adalah paling jauh 5 m. Jika jarak objek ke sensor lebih dari 5 m maka sensor tidak mendeteksi keberadaan objek. Diagram pewaktuan pola spasial dan temporal masing-masing kejadian dari Sensor 1 dan 2 dapat dilihat pada Gambar 3. Kondisi yang terjadi yaitu kendaraan melawan arah, kendaraan tidak melawan arah dan objek manusia yang melewati alat baik melawan arah ataupun tidak. Terdapat kondisi lain yang mungkin terjadi yaitu ketika terdapat dua atau lebih kendaraan melintas secara hampir sejajar.

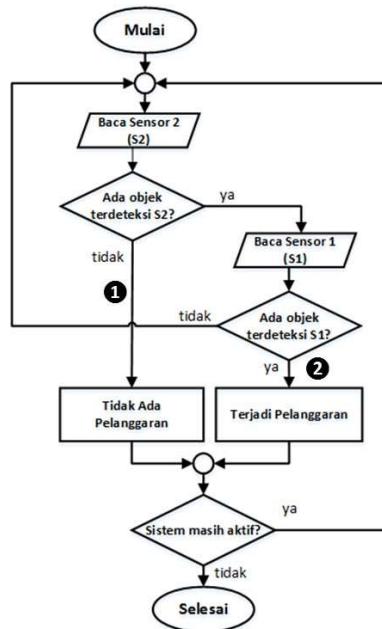
Jika kondisi ini terjadi, maka sistem menghitung sebagai satu kendaraan yang melintas. Kondisi ini belum diakomodasi oleh sistem dan masih menjadi pengembangan untuk tahap berikutnya.

2.2 Diagram Alir Sistem

Sistem bekerja berdasarkan diagram pewaktuan Gambar 3 dan diimplementasikan ke dalam diagram alir Gambar 4. Pada Gambar 3, pertama, Sensor 2 mendeteksi keberadaan objek. Jika tidak terdeteksi objek maka program mendeteksi tidak pelanggaran. Jika Sensor 2 mendeteksi ada objek maka Sensor 1 aktif dan mendeteksi keberadaan objek (kondisi pewaktuan ①). Jika Sensor 1 mendeteksi ada objek maka kondisi pewaktuan ② terpenuhi sehingga sistem mendeteksi dan mencatat terjadi pelanggaran Lawan Arah. Jika Sensor 1 tidak mendeteksi ada objek maka program kembali membaca Sensor 2. Urutan kejadian seperti ini dihitung sebagai satu pelanggaran lawan arah dan menampilkannya ke dalam LCD serta *active buzzer* menyala beberapa detik. Kemudian Sensor 1 dimatikan kembali ke awal seperti pada kondisi awal sistem dinyalakan. Pada implementasi di dalam program, *delay* pembacaan Sensor 1 dan 2 masing-masing adalah 20 ms, dengan menggunakan fungsi *delay(20)*. Nilai ini menjadi waktu *sampling* pembacaan objek sepeda motor.



Gambar 3. Diagram Pewaktuan Sensor 1 dan 2 Terhadap Deteksi (A) Sepeda Motor Lawan Arah, (B) Sepeda Motor Arah Benar dan (C) Objek Manusia Lewat Lawan Arah



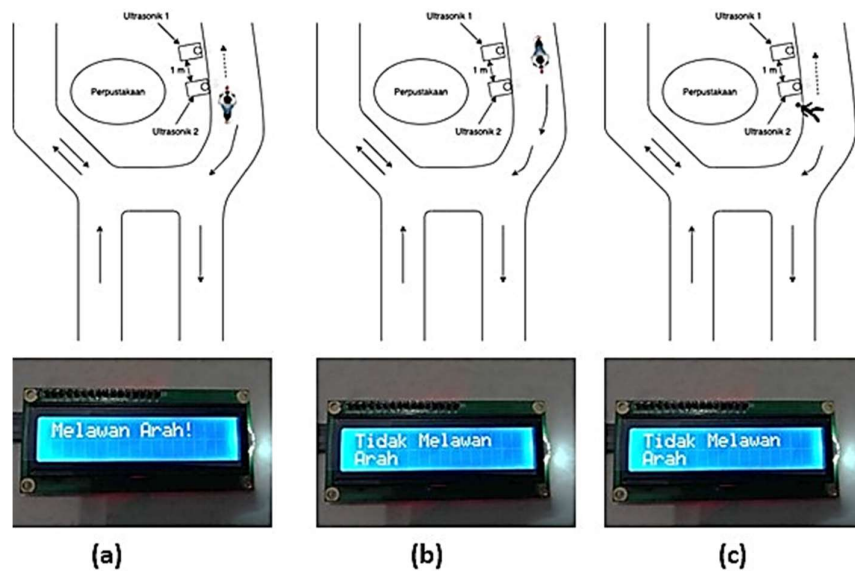
Gambar 4. Diagram Alir Algoritma Kerja Sistem

Seluruh urutan kejadian-kejadian yang tidak memenuhi kondisi tersebut, maka tidak dihitung sebagai pelanggaran. Misalnya, jika sepeda motor melintas dengan arah benar maka kondisi pewaktuan tidak sama dengan pewaktuan lawan arah (Gambar 3) sehingga diagram alir Gambar 5 tidak terpenuhi. Oleh karena itu, sistem mendeteksi sebagai tidak terjadi pelanggaran.

Kondisi lain, ketika ada objek manusia melintas di depan Sensor 1 dan 2 baik arah benar atau lawan arah. Sensor ultrasonik 2 akan mendeteksi dan sensor ultrasonik 1 akan menyala. Namun kondisi di mana kedua sensor mendeteksi objek dalam waktu bersamaan (kondisi pewaktuan ②) tidak akan terpenuhi karena tubuh manusia kurang dari 1 meter.

2.3 Lokasi Penempatan dan Rancangan Tampilan Peraga LCD

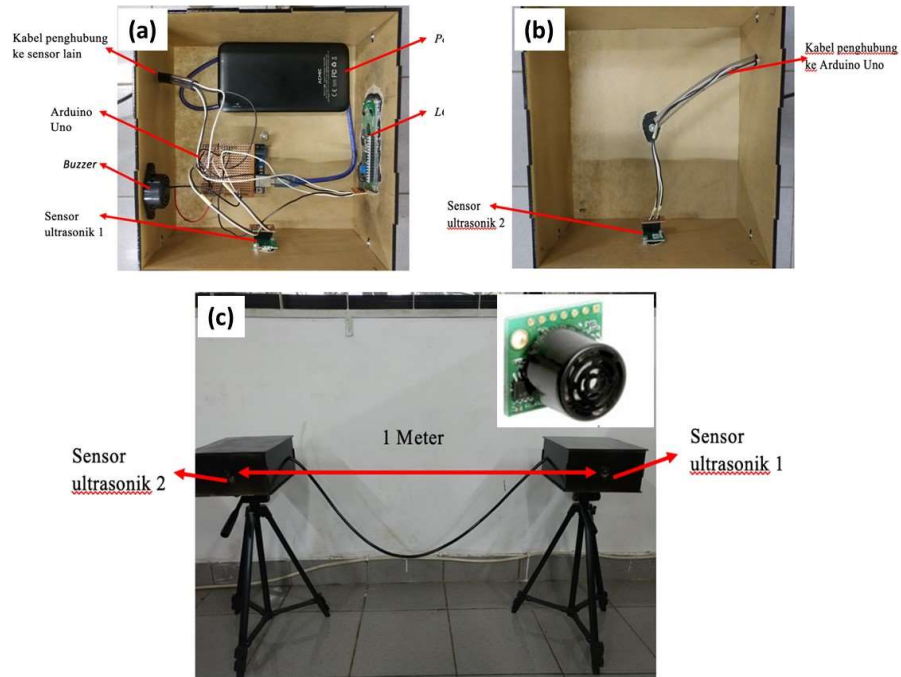
Untuk menguji fungsional dan kinerja sistem, sensor diletakkan pada jalan satu-arah. Hal ini dimaksudkan agar kondisi pengujian pelanggaran lalu lintas lawan arah tidak tercampur dengan arah benar. Terdapat beberapa titik lokasi jalan satu arah di dalam kampus, seperti jalur IPA, jalur tengah dan jalur IPS. Untuk uji coba, perangkat ditempatkan di pinggir Perpustakaan Pusat (Kandaga, di jalur tengah), lokasi pinggir jalan satu-arah (ke arah turun). Lokasi ini dipilih karena pertimbangan trafik yang lebih padat. Tampilan peraga LCD untuk seluruh kondisi pelanggaran dapat dilihat pada Gambar 5. Dalam proses uji coba, dilakukan beberapa uji kejadian sepeda motor Lawan Arah, Arah Benar dan objek manusia (Gambar 5.a, b dan c).



Gambar 5. Lokasi Penempatan-Pengujian Area Kampus dan Tampilan Peraga LCD Terhadap Deteksi (A) Sepeda Motor Lawan Arah, (B) Sepeda Motor Arah Benar dan (C) Objek Manusia Lewat Lawan Arah

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

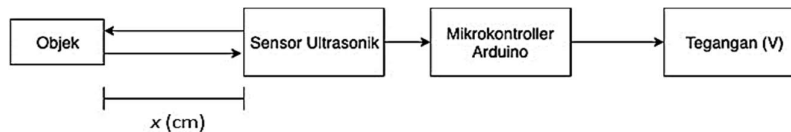
Wujud fisik perangkat keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 6. Perangkat utama dikemas dalam dua kotak (*casing*). Kotak satu memuat modul Sensor 1, peraga *Buzzer*, pengontrol Arduino, peraga LCD, dan sumber daya (*power bank*) (Gambar 6.a). Kotak 2 memuat Sensor 2 yang dihubungkan ke pengontrol Arduino di kotak pertama (Gambar 6.b). Kotak 1 dan 2 dipasang di masing-masing tripod berjarak 1 m (Gambar 6.c).



Gambar 6. Wujud Fisik Sistem (A) Kotak Sensor-1, (B) Kotak Sensor-2 dan (C) Integrasi Sistem Sensor-1 dan Sensor-2, Serta Wujud Fisik Modul Sensor Ultrasonik MB1030 (Inset)

3.1 Pengujian Sensor Ultrasonik

Pengujian sensor ultrasonik dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi keberadaan objek yang melintas di depannya. Pada pin D2 Arduino terhubung dengan pin RX sensor ultrasonik 1 dan pin D3 Arduino terhubung dengan pin RX sensor ultrasonik 2. Masing-masing pin RX dari sensor ultrasonik harus diberi logika *high* selama 50 milisekon agar sensor bekerja. Hasil dari pembacaan jarak akan direpresentasikan ke dalam nilai tegangan. Untuk mendapatkan tegangan, nilai dari pembacaan fungsi **analogRead()** dikali tegangan kerja yaitu 5 volt dibagi nilai ADC Arduino Uno yaitu 1023. Metode pengukuran yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Metode Pengukuran Tegangan Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik akan mendeteksi jarak objek (x) kemudian diolah dengan menggunakan mikrokontroler *Arduino Uno* dengan program yang telah dibuat. Lalu tegangan yang merepresentasikan jarak objek ditampilkan dan diukur.

Sensor ultrasonik diuji dengan kondisi ada objek dengan variasi jarak 20 hingga 600 cm, serta kondisi jarak objek lebih dari 600 cm (dengan interval 20 cm). Dari masing-masing jarak yang diuji, didapatkan tegangan yang merepresentasikan pembacaan jarak. Hasil dari pengujian kedua sensor ultrasonik dapat dilihat pada Gambar 8, yaitu hubungan pengukuran tegangan *output* sensor (v_s) dan jarak objek, x (cm). Dari data tersebut, diolah ke dalam bentuk grafik korelasi antara tegangan ultrasonik terhadap jarak objek seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian Pembacaan Jarak oleh Sensor 1 dan 2

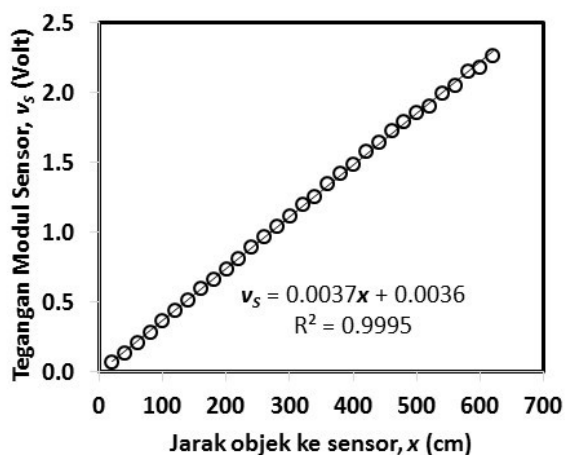
No	Jarak (cm)	Sensor 1 (cm)	Sensor 2 (cm)
1	20	18,5	18,52
2	40	39,4	39,4
3	60	60,29	60,29
4	80	78,56	78,56
5	100	98,14	99,45
6	120	119,03	120,33
7	140	139,91	138,61
8	160	160,79	159,49
9	180	179,07	179,07
10	200	199,93	199,96
11	220	219,53	220,84
12	240	240,42	241,71
13	260	258,69	259,99
14	280	279,57	280,87
15	300	297,95	300,45
16	320	318,73	321,34
17	340	339,61	342,22
18	360	360,49	363,12
19	380	380,08	381,38
20	400	400,96	402,06
21	420	420,54	423,15
22	440	440,12	444,03
23	460	459,69	462,3
24	480	480,54	485,8
25	500	500,16	506,58
26	520	521,04	527,56
27	540	539,31	548,45
28	560	325,25	322,65
29	580	197,34	195,12
30	600	211,69	226,06
31	>600	229,97	236,49

Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa semakin jauh jarak suatu objek terhadap sensor ultrasonik, maka semakin besar tegangan *output* v_s , dengan nilai koefisien korelasi R^2 0.9995 cukup tinggi. Hasil ini menyatakan bahwa hubungan tegangan *output* sensor sebanding dengan jarak objek. Dalam program, untuk mendapatkan nilai jarak x , persamaan korelasi antara v_s dan x dinyatakan menjadi seperti pada Persamaan (1). Persamaan (1) ini kemudian dimasukkan ke dalam program untuk menghitung jarak objek berdasarkan nilai tegangan yang dihasilkan oleh modul sensor.

$$x = \frac{v_s - 0,0037}{0,0037} \quad (1)$$

Hasil pengujian pengukuran jarak objek pembacaan oleh sensor ultrasonik untuk jarak x 20 hingga 600 cm serta kondisi ada objek (lebih dari 600 cm dengan interval 20 cm) disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan hasil Tabel 1, ketelitian pembacaan objek jarak 20 hingga 500 cm adalah ± 6 cm. Ketelitian pembacaan sensor untuk jarak objek 520 hingga 540 cm berkurang hingga ± 8 cm. Sedangkan ketelitian pembacaan sensor untuk jarak 560, 580, dan 600 cm semakin menurun.

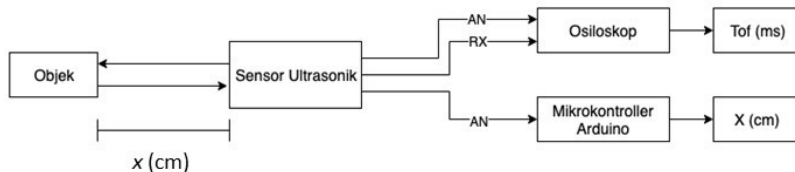
Pada kondisi jarak objek lebih dari 600 cm, *error* hasil pembacaan semakin besar. Kesalahan pembacaan jarak ini kemungkinan disebabkan kemampuan mikrokontroler Arduino Uno. Arduino Uno terlambat membaca sinyal pantul ultrasonik sehingga tegangan yang terbaca adalah tegangan saat sinyal pantul yang lemah. Oleh karena itu jarak yang ditampilkan lebih kecil daripada jarak sebenarnya. Dari pengujian ini, diketahui sensor mampu untuk mendeteksi jarak objek sejauh 540 cm.



Gambar 8. Grafik Korelasi Tegangan Ultrasonik Terhadap Jarak Objek

3.2 Pengujian Pembacaan Kecepatan Pembacaan Sensor Ultrasonik

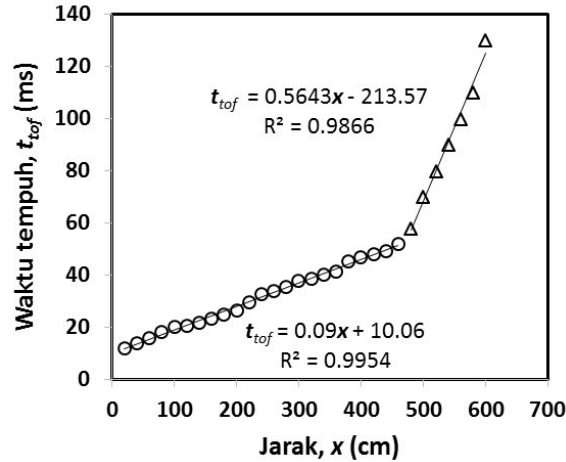
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui atau mengukur kecepatan sensor ultrasonik yang digunakan dalam mendeteksi keberadaan objek. Pengujian menggunakan bantuan alat osiloskop untuk mengukur waktu tempuh, *tof* (*time of flight*) ketika sensor dinyalakan hingga menghasilkan tegangan yang merepresentasikan jarak objek. Objek dalam kondisi diam. Metode pengujian ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 9. Metode Pengujian Kecepatan Pembacaan Sensor Ultrasonik

Ketika sensor ultrasonik mendeteksi jarak objek, pin RX yang merupakan sinyal picu ultrasonik dan pin AN yang mengeluarkan tegangan sesuai jarak objek akan dihubungkan ke osiloskop agar dapat diketahui *tof*. Sedangkan pin AN juga akan terhubung ke mikrokontroler Arduino Uno untuk menampilkan jarak yang terukur. Hasil pembacaan *tof* untuk variasi jarak yang sama seperti percobaan sebelumnya dapat dilihat pada Gambar 10.

Berdasarkan Gambar 10 diperoleh jarak objek yang ditentukan (cm) dan nilai t_{tof} dari sensor ultrasonik (ms). Kemudian data tersebut disajikan ke dalam bentuk grafik korelasi antara nilai t_{tof} terhadap jarak objek seperti pada Gambar 12.

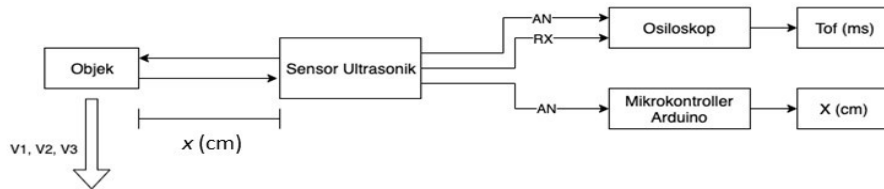


Gambar 10. Grafik Korelasi Waktu Tempuh t_{tof} Terhadap Jarak Objek

Dari Gambar 10 terlihat bahwa semakin jauh jarak objek terhadap ultrasonik maka semakin lama pula waktu yang dibutuhkan sensor untuk mendapatkan informasi jarak objek. Nilai koefisien korelasi R^2 sebesar 0,9954 atau pengaruh perubahan jarak objek terhadap perubahan t_{tof} sebesar 99,54%. Hasil pengujian pada Gambar 10 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan karakteristik pembacaan sensor ketika jarak objek kurang dari dan lebih dari 500 cm. Namun begitu, untuk keperluan sistem ini, hal ini tidak menyebabkan perbedaan hasil pembacaan deteksi pergerakan sepeda motor.

3.3 Pengujian Waktu Tempuh (t_{tof}) Sensor Ultrasonik Terhadap Objek Bergerak

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui fungsional pembacaan sensor ultrasonik dalam mendeteksi objek yang bergerak dengan variasi kecepatan. Pada pengujian ini masih sama seperti pengujian sebelumnya yakni mendapatkan nilai t_{tof} namun terhadap objek yang bergerak. Metode yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Metode Pengujian t_{tof} Sensor Ultrasonik Terhadap Objek Bergerak

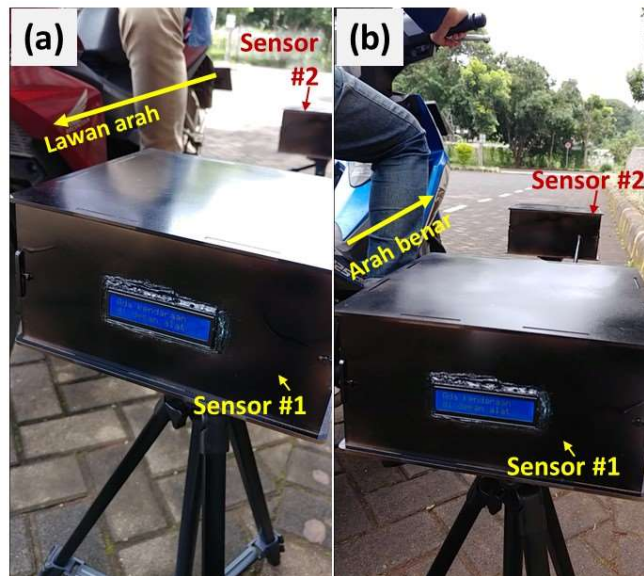
Untuk konfigurasi pin yang terhubung ke osiloskop dan mikrokontroler masih sama seperti pengujian sebelumnya. Namun untuk pengujian ini objek dalam keadaan bergerak seperti pada Gambar 11 dengan tiga kategori kecepatan yaitu V_1 lambat (5-10) km/jam, V_2 sedang (10-30) km/jam dan V_3 cepat (>30) km/jam. Variasi jarak yang diuji juga lebih sedikit dari pengujian sebelumnya yaitu 100, 200, 300, 400, 500 dan 600 cm. Hasil pengujian terdapat pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 didapatkan pengukuran jarak yang tidak sesuai dengan jarak sebenarnya namun perbedaan yang didapat tidak lebih dari 70 cm. Hal ini disebabkan objek yang bergerak

kemungkinan memang tidak tepat berada pada jarak yang seharusnya diuji. Namun ketika objek melintas masih terdapat perubahan tegangan yang terdeteksi. Untuk t_{of} ketika objek melintas, lebih lambat dari data pada Tabel 4 sebelumnya serta tidak terlalu menunjukkan pengaruh jarak terhadap nilai t_{of} terutama pada jarak 300 dan 400 cm.

Tabel 2. Pengujian Waktu (t_{of}) Sensor Ultrasonik Terhadap Objek Bergerak

No	Kecepatan	Jarak (cm)	x (cm)	t_{tof} (ms)
1	Lambat (5-10 km/jam)	100	143,2	28,8
2		200	255,9	29,8
3		300	312,8	100
4		400	426,4	76,6
5		500	502,1	65,0
6		600	534,6	62,8
7	Sedang (10-30 km/jam)	100	134,6	31,0
8		200	224,3	28,0
9		300	326,3	101,0
10		400	502,1	64,0
11		500	534,6	62,4
12		600	534,6	62,8
13	Cepat (>30 km/jam)	100	134,3	23,2
14		200	224,3	35,2
15		300	323,6	110,0
16		400	502,1	65,0
17		500	534,6	65,6
18		600	588,7	56,5



Gambar 12. Pengujian Deteksi Sepeda Motor Bergerak dengan Kecepatan Tertentu Secara (a) Lawan Arah dan (b) Arah Benar

3.4 Pengujian Integrasi Sistem

Pengujian sistem ini dilakukan untuk mengetahui apakah kedua sensor ultrasonik dan algoritma yang dibuat pada program dapat bekerja sesuai dengan fungsi rancangan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan objek sepeda motor yang melaju dengan lawan arah dan arah benar (Gambar 12). Berdasarkan pengujian kemampuan sensor sebelumnya, maka ditetapkan jarak sepeda motor yang melintas di depan sistem ini harus kurang dari 5 meter. Apabila lebih dari 5 meter maka akan dianggap tidak ada kendaraan yang melintas. Terdapat beberapa pengujian dengan kondisi tertentu.

3.4.1 Kondisi Sepeda Motor Lawan Arah

Pengujian ini dilakukan dengan memberi variasi kecepatan kendaraan motor yang melintas. Kecepatan motor yang diuji di antaranya 5, 10, 15, 20, 25, 30, dan 35 km/jam. Masing-masing kecepatan diuji sebanyak sepuluh kali. Hasil pengukuran dimensi sepeda motor berbagai pabrikan dan model, panjang sepeda motor bervariasi antara 100–120 cm. Berdasarkan algoritma Gambar 3, selisih panjang tidak menentukan hasil deteksi. Deteksi pelanggaran lawan arah dan arah benar hanya ditentukan oleh urutan kemunculan pulsa ① dan ②, bukan oleh jarak antar-pulsa ① dan ②. Oleh karena itu, pengujian cukup menggunakan satu sampel sepeda motor yaitu Supra GTR 150 (jenis sepeda motor lain juga dapat digunakan). Dari percobaan ini data yang didapat sebanyak tujuh puluh data. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3, dari tujuh kali pengujian variasi kecepatan, persentase keberhasilan terbesar terjadi pada kecepatan 25 km/jam. Sedangkan persentase keberhasilan terkecil yakni pada kecepatan 30 km/jam dan 35 km/jam. Dapat disimpulkan bahwa sistem ini akan efektif mendeteksi kendaraan yang melawan arah pada kecepatan rendah yaitu 5 km/jam hingga 25 km/jam. Kemampuan membaca pelanggaran menurun untuk kecepatan sepeda motor 30 km/jam dan 35 km/jam. Namun untuk pengujian pada kecepatan 30 km/jam dan 35 km/jam ini hasil yang didapat sudah baik dengan persentase 80%. Sehingga total persentase keberhasilan sistem mendeteksi pelanggaran sepeda motor lawan arah yakni 87,14%. Terdapat beberapa kesalahan pembacaan deteksi pelanggaran lawan arah. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh durasi *delay* di antara jeda pembacaan Sensor 2 terlebih dahulu lalu ke Sensor 1, yang kurang tepat di algoritma sistem. Pada penelitian berikutnya, penyempurnaan algoritma, terutama penentuan *delay* pembacaan Sensor 2 dan 1 menjadi fokus. Hal ini menunjukkan bahwa sistem yang dibuat telah mampu mendeteksi sepeda motor yang melawan arah dengan cukup baik. Untuk kecepatan tinggi yakni lebih dari 35 km/jam tidak dilakukan pengujian mengingat jalan yang tidak memungkinkan serta peraturan kampus Universitas Padjadjaran yang membatasi kecepatan pengendara maksimal 40 km/jam.

Tabel 3. Pengujian Akurasi Pendeteksian Sepeda Motor Lawan Arah

No	Kecepatan (km/jam)	Jumlah Pengujian	Jumlah Terdeteksi	Kesalahan
1	5	10	9	1
2	10	10	9	1
3	15	10	8	2
4	20	10	9	1
5	25	10	10	0
6	30	10	8	2
7	35	10	8	2
Prosentase			87,14%	12,86%

3.4.2 Kondisi Sepeda Motor Arah Benar

Pengujian selanjutnya yaitu ketika sepeda motor melintas dengan arah yang sesuai. Variasi kecepatan masih sama seperti pengujian sebelumnya. Sistem akan mengabaikan kendaraan yang melintas dengan arah yang benar. Hasil pengujian kondisi sepeda motor bergerak dalam arah benar disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengujian Kesalahan Deteksi Sepeda Motor Arah Benar

No	Kecepatan (km/jam)	Jumlah Pengujian	Jumlah Terdeteksi	Error
1	5	10	10	0
2	10	10	10	0
3	15	10	10	0
4	20	10	10	0
5	25	10	10	0
6	30	10	10	0
7	35	10	10	0
Prosentase			100 %	0%

Berdasarkan Tabel 4, didapatkan persentase keberhasilan terbesar yakni pada setiap variasi kecepatan. Selama pengujian tidak ada sepeda motor yang terdeteksi sebagai pelanggaran. Sehingga alat ini sudah mampu membedakan sepeda motor yang melintas dengan arah yang benar dengan sepeda motor yang melawan arah untuk variasi kecepatan hingga 35 km/jam.

Tabel 5. Pengujian Deteksi Objek Manusia Melintas

No	Kondisi	Arah	Pengujian ke	Keterangan	
1	Orang berjalan	Arah benar	1	Terdeteksi	
2			2	Terdeteksi	
3			3	Terdeteksi	
4			4	Terdeteksi	
5			5	Terdeteksi	
6			6	Terdeteksi	
7			7	Terdeteksi	
8			8	Terdeteksi	
9			9	Terdeteksi	
10			10	Terdeteksi	
11		Lawan arah	Lawan arah	1	Terdeteksi
12				2	Terdeteksi
13				3	Terdeteksi
14				4	Terdeteksi
15				5	Terdeteksi
16				6	Terdeteksi
17				7	Terdeteksi
18				8	Terdeteksi
19				9	Terdeteksi
20				10	Terdeteksi
Akurasi				100%	

3.4.3 Kondisi Objek Manusia Melintas

Selanjutnya sistem ini akan diuji juga apabila terdapat objek manusia melintas dengan arah yang sesuai maupun arah berlawanan. Pengujian dilakukan sebanyak sepuluh kali orang melintas baik melawan arah maupun tidak. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5. Berdasarkan hasil Tabel 5, dari sepuluh kali pengujian objek manusia melintas arah benar dan sepuluh kali lawan arah, sistem dapat mendeteksi bahwa objek yang melintas adalah manusia sehingga sistem tidak mencatat sebagai pelanggaran lalu lintas lawan arah.

3.4.4 Kondisi Kendaraan Berhenti di Depan Sensor

Kondisi lainnya yang mungkin terjadi adalah kendaraan sepeda motor berhenti di depan sistem. Pengujian dilakukan dengan menghentikan kendaraan motor di depan alat baik motor dari arah yang berlawanan maupun dari arah yang sesuai. Hasil dari pengujian kendaraan berhenti di depan alat dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Pengujian Pendeteksian Kondisi Sepeda Motor Berhenti di Depan Sensor

No	Kondisi	Arah	Pengujian ke	Keterangan
1	Sepeda motor berhenti di depan alat	Arah benar	1	Terdeteksi
2			2	Terdeteksi
3			3	Terdeteksi
4			4	Terdeteksi
5			5	Terdeteksi
6			6	Terdeteksi
7			7	Terdeteksi
8			8	Terdeteksi
9			9	Terdeteksi
10			10	Terdeteksi
11		Lawan arah	1	Terdeteksi
12			2	Tidak Terdeteksi
13			3	Terdeteksi
14			4	Terdeteksi
15			5	Terdeteksi
16			6	Tidak Terdeteksi
17			7	Terdeteksi
18			8	Terdeteksi
19			9	Terdeteksi
20			10	Terdeteksi
Akurasi				90%

Ketika sepeda motor datang dari arah yang benar kemudian berhenti di depan alat, sistem dapat mendeteksi ada benda yang menghalangi kinerja sensor. Hal ini dilakukan selama sepuluh kali percobaan. Didapatkan akurasi hingga 100%. Namun untuk sepeda motor yang tidak melawan arah kemudian berhenti di depan alat, terdapat dua kali pembacaan di mana sensor menghitungnya sebagai melawan arah. Sehingga untuk kondisi sepeda motor di depan alat didapatkan akurasi sebesar 90%.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian sistem, baik secara masing-masing sistem dan integrasi sistem keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa sensor yang dibangun berfungsi sesuai rancangan untuk mendeteksi pelanggaran kendaraan sepeda motor lawan arah di lalu lintas area kampus Universitas Padjadjaran. Hal ini berdasarkan hasil pengujian bahwa tingkat keberhasilan sistem dalam mendeteksi pelanggaran lawan arah 87,14%. Sistem yang dibuat dapat membedakan kendaraan motor yang melintas sesuai arah yang benar dengan akurasi 100%. Selain itu, fitur sistem dapat mendeteksi dan memberi peringatan apabila terdapat kendaraan yang berhenti di depan sistem sehingga menghalangi kinerja sistem dengan akurasi 90%. Sesuai Gambar 3.c, pulsa kemunculan deteksi objek sepeda motor berbeda dengan manusia berbeda. Objek sepeda motor memberikan pola pulsa bersamaan pada Sensor 1 dan 2 (pada waktu pulsa ②), sedangkan pola pulsa ② (muncul pulsa di Sensor 1 dan 2) tidak pernah terjadi pada objek manusia. Sistem juga dapat membedakan pejalan kaki atau kendaraan sepeda motor yang melintas dengan akurasi 100%. Secara umum, sistem sensor ini dapat berfungsi sesuai rancangan. Dengan mengetahui distribusi kejadian pelanggaran, baik lokasi maupun waktu kejadiannya, maka data tersebut dapat digunakan oleh pengelola kampus untuk keperluan manajemen personalia dan pengaturan lalu lintas agar kecelakaan dapat dihindari. Dalam aplikasinya di luar kampus, sistem ini dapat juga dimanfaatkan oleh petugas polisi lalu lintas dalam proses penegakkan hukum undang-undang lalu lintas jalan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Kemenristekdikti melalui skim Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT) Universitas Padjadjaran tahun anggaran 2021. Kami mengucapkan terima kasih kepada Kemenristekdikti atas pendanaan PTUPT Universitas Padjadjaran no. 1207/UN6.3.1/PT.00/2021.

DAFTAR RUJUKAN

- Agarwal, P., Chopra, K., Kashif, M., & Kumari, V. (2018). Implementing ALPR for detection of traffic violations: a step towards sustainability. *Procedia Computer Science*, 132, 738–743.
- Al-shabibi, L., Jayaraman, N., & Vrindavanam, J. (2014). Automobile Speed Violation Detection System using RFID and GSM Technologies. *International Journal of Applied Information Systems*, 7(6), 24–29.
- Alfarid, D., Hidayat, D., & Rohadi, N. (2021). Development of Vehicle Detection for One-Way Traffic Violation Based on Internet of Things. *2021 International Conference on Artificial Intelligence and Mechatronics Systems (AIMS)*, (pp. 1–5).
- Aliane, N., Fernandez, J., Mata, M., & Bemposta, S. (2014). A System for Traffic Violation Detection. *Sensors*, 14(11), pp. 22113–22127.
- Appiah, O., Quayson, E., & Opoku, E. (2020). Ultrasonic sensor based traffic information acquisition system; a cheaper alternative for ITS application in developing countries.

- Scientific African*, 9, e00487.
- Aseem, O. M. (2019). Traffic Violations for Safe Speed System. *International Journal of Applied Engineering Research*, 14(19), 3730–3733.
- Bedruz, R. A., Uy, A. C. P., Quiros, A. R., Billones, R. K., Sybingco, E., Bandala, A., & Dadios, E. P. (2018). A Robotic Model Approach of an Automated Traffic Violation Detection System with Apprehension. *2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM)*, (pp. 1–4).
- Bolsunovskaya, M., Leksashov, A., Shirokova, S., & Tsygan, V. (2021). Development of an information system structure for photo-video recording of traffic violations. *XXII International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies (EMMFT-2020)*, 244, (pp. 1–9).
- Chaware, S., & Chaware, T. (2019). Proposed algorithm for smart traffic control using ultrasonic sensors. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8(6), 3912–3915.
- Feng, M., Wang, X., & Quddus, M. (2020). Developing Multivariate Time Series Models to Examine the Interrelations between Police Enforcement , Traffic Violations , and Traffic Crashes. *Analytic Methods in Accident Research*, 28, 100139.
- Goma, J. C. De, Eviota, M. A. J., & Lopena, V. P. (2020). Detecting Red-Light Runners (RLR) and Speeding Violation through Video Capture. *2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*, (pp. 774–778).
- Hajeb, S., Javadi, M., Hashemi, S. M., & Parvizi, P. (2013). Traffic Violation Detection System based on RFID. *Traffic Violation Detection System Based on RFID*, 7(2), 290–293.
- Kulanthayan, S., Phang, W. K., & Hayati, K. S. (2007). Traffic Light Violation among Motorists in Malaysia. *International Association of Traffic and Safety Sciences*, 31(2), 67–73.
- Li, G., Li, S. E., Zou, R., Liao, Y., & Cheng, B. (2019). Detection of road traffic participants using cost-effective arrayed ultrasonic sensors in low-speed traffic situations. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 132, 535–545.
- Liu, J., Han, J., Lv, H., & Li, B. (2015). An Ultrasonic Sensor System Based on a Two-Dimensional State Method for Highway Vehicle Violation Detection Applications. *Sensors*, 14(4), 9000–9021.
- Mampilayil, H. R., & K, R. (2019). Deep learning based Detection of One Way Traffic Rule Violation of Three Wheeler Vehicles. *2019 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICCS)*, (pp. 1453–1457).

- Prakash, N., Kamath, C. U., & Gururaja, H. S. (2020). Detection of Traffic Violations using Moving Object and Speed Detection. *Wutan Huatan Jisuan Jishu*, XVI(6), 61–72.
- Sarowar, S. S., & Shende, P. S. M. (2015). Over Speed Violation Management and Control of Vehicle Based on Zigbee. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 3(1), 1168–1173.
- Sheikh, M. S., Liang, J., & Wang, W. (2020). An Improved Automatic Traffic Incident Detection Technique Using a Vehicle to Infrastructure Communication. *Journal of Advanced Transportation*, 2020, 1–14.
- Sushmitha, M. C., Subhasree, J., Thushara, S. S., & Rajalakshmi, V. (2020). Traffic Rules Violation Detection System. *6th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*, (pp. 1702–1704).