
OPTIMALISASI KLASIFIKASI KENDARAAN OTOMATIS DENGAN SISTEM KONTROL ARAH KENDARAAN BERBASIS SENSOR INFRAMERAH

Sri Hartanto, Trio Sasmito

Abstrak—Sebelum digunakan Gardu Tol Otomatis (GTO) pada jalan tol, terdapat petugas yang memasukkan data jenis kendaraan secara manual pada mesin transaksi untuk mengeluarkan tarif tol sesuai dengan jenis kendaraan. Setelah penggunaan GTO, pekerjaan petugas tersebut digantikan dengan peranti elektronik *Automatic Vehicle Classification* (AVC) untuk mengklasifikasikan jenis kendaraan secara otomatis sehingga dapat dikeluarkan tarif tol sesuai dengan jenis kendaraan. Untuk mengatasi masalah ini, pada peranti AVC ditambahkan sensor inframerah sebagai sistem kontrol arah kendaraan yang bergerak mundur. Sensor inframerah tambahan ini terdiri dari modul pemancar dan penerima sebagai pendeteksi arah kendaraan yang dipasang dengan jarak 50 cm dari sensor profile scanner. Dari hasil pengujian yang dilakukan, hasil sampel data transaksi menunjukkan bahwa persentase kesalahan maksimum sebelum penambahan sensor inframerah rata-rata adalah 0,302% dan persentase kesalahan maksimum setelah penambahan sensor inframerah rata-rata adalah 0,100% sehingga terjadi penurunan kesalahan sebesar 0,202%. Dengan demikian, optimalisasi klasifikasi kendaraan otomatis dapat tercapai.

Kata Kunci: sensor inframerah, AVC dan klasifikasi kendaraan

Abstract— *Before using the Automatic Toll Gate (GTO) on toll roads, an officer entered the vehicle type data manually on the transaction machine to issue toll rates according to the type of vehicle. After the use of the GTO, the officer's job was replaced with an Automatic Vehicle Classification (AVC) electronic device to automatically classify the types of vehicles so that toll rates could be issued according to the type of vehicle. To solve this problem, the AVC device is added with an inframerah sensor as a control system for the direction of a vehicle that is moving backwards. This additional inframerah sensor consists of a transmitter and receiver module to detect the direction of the vehicle, which is installed at a distance of 50 cm from the profile scanner sensor. From the results of the tests carried out, the results of the sample transaction data show that the maximum error percentage before the addition of an inframerah sensor is 0.91% and the maximum error percentage after adding an inframerah sensor is 0.54% so that there is a decrease in error by 0.37%. Thus, optimization of automatic vehicle classification can be achieved.*

Keywords: inframerah sensor, AVC and vehicle classification

1. PENDAHULUAN

Jalan Tol adalah jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar tol. Tol adalah sejumlah uang tertentu yang dibayarkan untuk penggunaan jalan tol, dimana pengguna jalan tol adalah setiap orang yang menggunakan kendaraan bermotor dengan membayar tol. [1]

Transaksi di gardu tol secara manual dilakukan petugas yang menentukan jenis/klasifikasi kendaraan dan besarnya pembayaran sesuai dengan tarif dari jenis/klasifikasi kendaraan. Seiring mulai diberlakukannya transaksi menggunakan uang elektronik (*e-money*), beberapa operator jalan tol mulai menggunakan sistem transaksi tol otomatis, yaitu Gardu Transaksi Otomatis (GTO). Setelah penggunaan GTO, pekerjaan petugas digantikan dengan peranti elektronik *Automatic Vehicle Classification* (AVC) untuk mengklasifikasikan jenis kendaraan secara otomatis sehingga dapat dikeluarkan tarif tol sesuai dengan jenis kendaraan. [2]

Meskipun demikian, masih ditemukan adanya kesalahan pengklasifikasian kendaraan dengan menggunakan peranti AVC ini yang disebabkan ketidakmampuan peranti AVC mendeteksi kendaraan yang bergerak mundur setelah masuk ke area deteksi klasifikasi kendaraan. Dalam hal ini, timbul peluang terjadinya kesalahan klasifikasi kendaraan yang berakibat pada kesalahan penentuan tarif tol. Untuk mengatasi masalah ini, pada peranti AVC ditambahkan sensor inframerah sebagai sistem kontrol arah kendaraan yang bergerak mundur.

Penelitian ini dibatasi pada penambahan sensor inframerah sebagai sistem kontrol arah kendaraan yang bergerak mundur dan menganalisa persentase kesalahan pengklasifikasian, baik sebelum penambahan sensor inframerah sebagai sistem kontrol arah kendaraan yang bergerak mundur maupun sesudah penambahan sensor inframerah sebagai sistem kontrol arah kendaraan yang bergerak mundur,

sehingga dapat ditentukan apakah optimalisasi klasifikasi kendaraan otomatis dapat tercapai.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah suatu sistem komputer yang lengkap dalam satu chip, yang berisikan *Read-Only Memory* (ROM), *Random Acces Memory* (RAM), beberapa port masukan maupun keluaran, dan beberapa *peripheral* seperti counter/timer, *Analog to Digital Converter* (ADC), *Digital to Analog Converter* (DAC). [3]

Peranti *Automatic Vehicle Classification* (AVC) umumnya terdiri dari mikrokontroler dengan arsitektur ARM yang merupakan arsitektur prosesor 32-bit *Reduce Instruction Set Compute* (RISC) yang dikembangkan oleh ARM Limited. ARM CPU berfungsi untuk menjalankan program aplikasi untuk mengolah data-data yang diperoleh dari modul sensor *profile scanner* dan modul *Double Wheel Sensor* (DWS). Data-data tersebut diproses dengan menggunakan algoritma yang sudah dibuat sehingga memperoleh keluaran berupa data klasifikasi kendaraan.[4]

2.2. Catu Daya

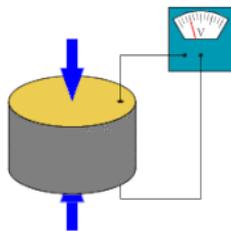
Catu Daya yang diperlukan adalah yang memiliki spesifikasi tegangan masukan 220 volt AC dan memiliki tegangan keluaran 24 volt DC dan 5 volt DC. Daya yang dibutuhkan untuk modul *Profile Scanner* adalah 24 watt, modul DWS adalah 5 watt, CPU Controller adalah 10 watt

2.3. Piezoelectric sebagai Double Wheel Sensor

Piezoelectric adalah muatan listrik yang terakumulasi dalam bahan padat tertentu akibat tekanan mekanik. *Piezoelectric* sering digunakan untuk mengukur tekanan, percepatan, regangan, dan biasa digunakan dalam alat seperti: mikrofon, jam quartz, mesin pembakaran dalam, printer, oscillator elektronik. Pada tahun 1880, Curie bersaudara, Jacques dan Pierre, menemukan bahwa tekanan menghasilkan muatan listrik

di sejumlah kristal seperti kuarsa dan turmalin dan fenomena ini disebut “*piezoelectric effect*”. Sifat efek *piezoelectric* berkaitan erat dengan terjadinya momen dipole listrik pada suatu padatan. [5]

Pada efek *piezoelectric*, perubahan polarisasi terjadi akibat tekanan mekanik. Dengan sifatnya yang dapat mendeteksi variasi tekanan, maka *piezoelectric* ini mempunyai fungsi utama sebagai sensor. [5]



Gambar 1. Piezoelectric [5]

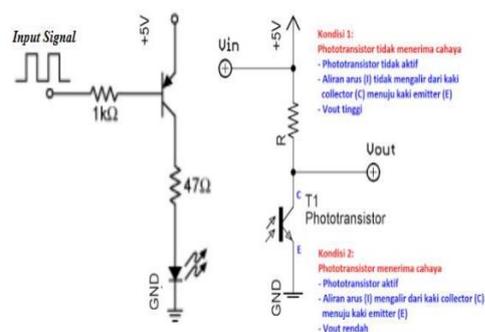
2.4. Sensor Inframerah Sebagai Profile Scanner

Sensor Inframerah adalah komponen elektronika yang dapat mendeteksi objek ketika sinar inframerah terhalang oleh objek. Sensor inframerah terdiri dari LED inframerah sebagai pemancar dan fototransistor sebagai penerima sinar inframerah. LED inframerah sebagai pemancar sinar inframerah merupakan singkatan dari *Light Emitting Diode* Inframerah yang terbuat dari bahan Galium Arsenida (GaAs) dan dapat memancarkan sinar inframerah dan radiasi panas pada saat diberi energi listrik. Proses pemancaran sinar akibat adanya energi listrik yang diberikan terhadap suatu bahan disebut dengan sifat elektroluminesensi. Fototransistor sebagai penerima sinar inframerah merupakan transduser yang dapat mengubah energi sinar inframerah menjadi arus listrik. Fototransistor adalah suatu penerima sinar inframerah yang merupakan kombinasi fotodiode dan penguatan transistor. Fototransistor memiliki sensitifitas yang lebih tinggi dibandingkan fotodiode, tetapi waktu respon lebih lambat daripada fotodiode. [6]

Fototransistor memiliki karakteristik dan keunggulan, sebagai berikut:

1. Tegangan keluaran merupakan tegangan digital atau sudah mempunyai logika 1 atau logika 0.
2. Tidak membutuhkan Pre-Amp sebagai penguat sinyal.
3. Tegangan yang dibutuhkan relatif rendah, yaitu cukup dengan 5 volt DC.
4. Mendukung logika TTL dan CMOS.
5. Pendeteksi jarak dekat.
6. Respon waktu cukup cepat.
7. Dapat digunakan dalam jarak lebar.[6]

Rangkaian dasar sensor infrared *common emitter* yang menggunakan LED inframerah dan fototransistor dapat dilihat pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Rangkaian LED Inframerah [6]

2.5. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan dalam sistem aplikasi klasifikasi kendaraan terbagi menjadi dua, yaitu:

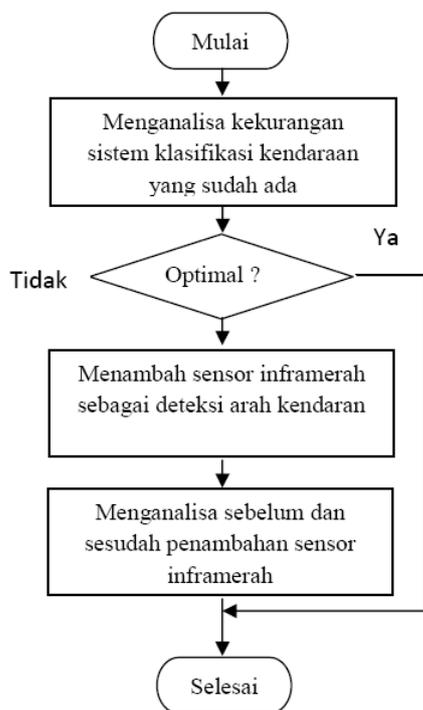
1. Perangkat lunak untuk aplikasi di mikrokontroler ATmega162
Aplikasi mikrokontroler yang dibangun menggunakan AVR Studio 4 ini berperan sebagai program untuk *Double Wheel Sensor* dan penghitung gandar kendaraan. Aplikasi ini menghitung roda kendaraan dari sinyal yang dihasilkan oleh sensor *piezoelectric*, dimana dalam satu gandar kendaraan terutama truk dan bus memiliki lebih dari satu roda tiap sisi belakangnya.
2. Perangkat lunak untuk aplikasi di CPU ARM 32 bit
Aplikasi yang dibuat menggunakan program Bahasa C dan kompilator menggunakan GCC ini berperan sebagai

aplikasi yang mengolah data-data dari sensor *piezoelectric* sebagai penghitung gandar dari kendaraan, dan sensor inframerah sebagai *profile scanner* pendeteksi tinggi kendaraan.

3.METODE PENELITIAN

3.1. Bagan Alir Metode Penelitian

Metode penelitian dimulai dengan menganalisa kekurangan sistem klasifikasi kendaraan yang sudah ada, lalu mengoptimalkan dengan penambahan satu unit sensor inframerah, dan diakhiri dengan membandingkan data pengujian sebelum penambahan sensor inframerah dengan setelah penambahan sensor inframerah.. Bagan alir metode penelitian diperlihatkan dalam Gambar 3 berikut:



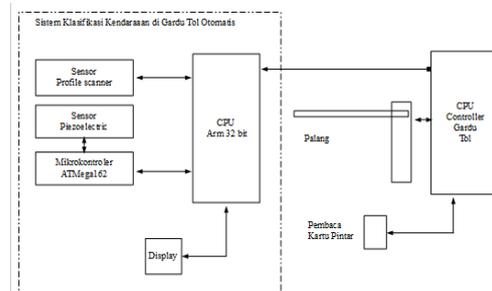
Gambar 3. Bagan Alir Metode Penelitian

3.2. Waktu dan Lokasi Penelitian

Perancangan alat dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Krisnadwipayana dan Workshop PT Delameta Bilano. Penelitian pengujian alat pengklasifikasi kendaraan yang sudah dimodifikasi dilaksanakan di bulan Juli 2020 selama 19 hari dari jam 00.01 sampai 23.59 pada ruas jalan tol Jakarta-Merak.

3.3 Blok Diagram AVC

Gambar 4 menunjukkan blok diagram alat pengklasifikasi kendaraan (AVC) standar untuk pengujian Gardu Tol Otomatis (GTO) pertama.



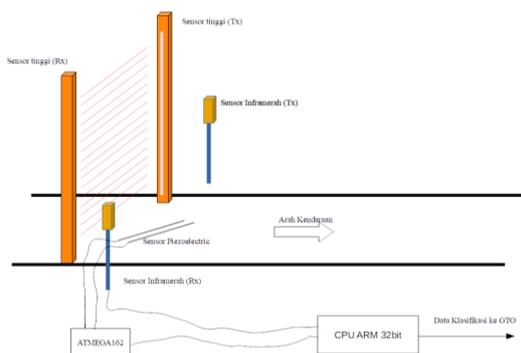
Gambar 4. Blok Diagram AVC

Dari Gambar 4, alat pengklasifikasi kendaraan terdiri dari 4 rangkaian modul utama dan 1 modul tambahan berupa *display dot matrix*. Komunikasi antara modul menggunakan komunikasi serial RS232. Modul CPU ARM 32 bit terdiri dari beberapa modul yaitu :

1. Modul ATMEGA 162 sebagai antarmuka dengan sensor *piezoelectric*.
2. Modul Sensor Tinggi (*Profile Scanner*) untuk mendapat data tinggi kendaraan dan menandakan kendaraan sedang melintas *Profile Scanner*.
3. Modul Display sebagai indikator jenis kendaraan yang berhasil dideteksi.
4. Modul Komunikasi ke perangkat Gardu Tol Otomatis (GTO) dengan memberikan data klasifikasi kendaraan.

3.4. Sistem Kontrol Arah Kendaraan

Sensor inframerah kedua berupa modul transmitter dan receiver sebagai pendeteksi arah kendaraan. Dalam Gambar 5 berikut diperlihatkan pemasangan sensor inframerah dalam jarak 50 cm dari sensor *profile scanner* pada GTO kedua. Tujuan pemasangan sensor di sisi ini untuk mendapatkan sinyal keluaran berupa logika *low* (0) dan *high* (1) yang dapat dibandingkan dengan sinyal keluaran logika dari *profile scanner*.



Gambar 5. Sistem Kontrol Arah Kendaraan

Dengan penambahan sensor inframerah kedua, jika kendaraan tidak bergerak maju ke area deteksi klasifikasi kendaraan atau bergerak mundur dari area deteksi klasifikasi kendaraan, maka proses dikembalikan ke awal, sebelum sensor inframerah pertama menentukan tinggi kendaraan. Dengan memberikan logika 0 pada sensor inframerah kedua maka dapat terdeteksi bahwa kendaraan tidak bergerak maju atau bergerak mundur dari area deteksi klasifikasi kendaraan, dan dengan logika 1 berarti kendaraan melalui proses normal, yaitu bergerak maju ke area deteksi klasifikasi kendaraan.

3.5. Data Transaksi Kendaraan

Data sampel kendaraan yang diambil dari Gardu Tol Otomatis diperlihatkan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Data Klasifikasi Kendaraan

Hari	Jenis Klasifikasi Kendaraan Berdasarkan Golongan Tarif					Jumlah Transaksi
	I	II	III	IV	V	
1	2079	82	20	1	2	2184
2	2063	72	24	2	2	2163
3	1064	64	22	13	5	1168
4	1659	48	6	0	1	1714
5	1032	45	14	5	8	1104
6	2179	107	13	2	1	2302
7	2034	107	21	13	5	2180
8	1041	86	31	7	7	1172
9	2239	99	13	2	3	2356
10	2310	101	8	5	5	2429
11	1055	64	23	5	2	1149

12	1980	92	19	1	1	2093
13	2222	73	20	2	3	2320
14	1775	41	24	2	2	1844
15	1980	92	19	1	1	2093
16	2222	73	20	2	3	2320
17	1775	41	24	2	2	1844
18	1986	21	5	1	2	2015
19	952	41	6	1	2	1002

Berdasarkan pada Kepmen PU No: 370/KPTS/M/2007, klasifikasi kendaraan terdiri dari:

- Golongan I : Sedan, Jip, Pick Up/Truk Kecil, dan Bus
- Golongan II : Truk dengan 2 (dua) gandar
- Golongan III : Truk dengan 3 (tiga) gandar
- Golongan IV : Truk dengan 4 (empat) gandar
- Golongan V : Truk dengan 5 (lima) gandar atau lebih

4.HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Kesalahan Klasifikasi Sebelum Optimalisasi

Dari jumlah data kendaraan keseluruhan yang diperlihatkan dalam Tabel 1 sebanyak 35.452 kendaraan dalam 19 hari pengujian ditemukan adanya kesalahan pengklasifikasian kendaraan sebelum optimalisasi yang diperlihatkan dalam Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Data Kesalahan Pengklasifikasian Kendaraan Sebelum Optimalisasi

Hari	Jumlah Transaksi (T)	Kesalahan Sebelum Optimalisasi (KBO)	Persentase Kesalahan Sebelum Optimalisasi (%)
1	2184	10	0,458
2	2163	10	0,462
3	1168	2	0,171
4	1714	3	0,175
5	1104	10	0,906
6	2302	3	0,130

7	2180	5	0,229
8	1172	6	0,512
9	2356	12	0,509
10	2429	9	0,371
11	1149	1	0,087
12	2093	4	0,191
13	2320	3	0,129
14	1844	6	0,325
15	2093	4	0,191
16	2320	3	0,129
17	1844	6	0,325
18	2015	1	0,049
19	1002	4	0,399

Persentase kesalahan sebelum optimalisasi dihitung dengan rumus:

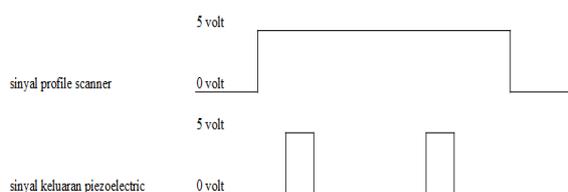
$$\frac{\text{Kesalahan Sebelum Optimalisasi (KBO)}}{100 \%} \times \text{Jumlah Transaksi (T)}$$

Kesalahan-kesalahan yang terjadi disebabkan beberapa faktor antara lain:

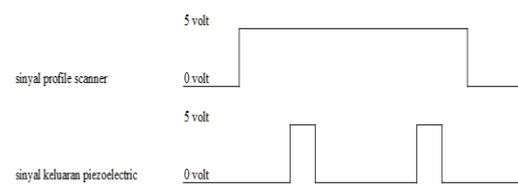
1. Sistem yang berjalan belum dapat membedakan ketika kendaraan yang bergerak maju dengan kendaraan yang bergerak mundur.
2. Adanya kerusakan atau kurang berfungsinya sensor inframerah dan sensor piezoelectric.
3. Faktor luar atau lingkungan sekitar seperti debu, air yang dapat menurunkan kemampuan mendeteksi kendaraan.

Gambar 6 berikut menunjukkan sinyal keluaran dari *profile scanner* dan *piezoelectric* ketika kendaraan bergerak maju (a) dan ketika kendaraan bergerak mundur (b).

a) Kendaraan bergerak maju



b) Kendaraan bergerak mundur



Gambar 6. Sinyal Keluaran Dari Profile Scanner dan Piezoelectric

Dilihat dari sinyal keluaran sensor *profile scanner*, jika kendaraan bergerak maju atau bergerak mundur, sistem tidak dapat membedakan, sehingga timbul peluang terjadinya kesalahan klasifikasi kendaraan. Ketika kendaraan bergerak maju, data klasifikasi kendaraan sudah tercatat dan terkirim ke kontrol Gardu Tol Otomatis dan ketika kendaraan bergerak mundur, data klasifikasi kendaraan tercatat lagi dan terkirim ke kontrol Gardu Tol Otomatis. Hal ini akan mengacaukan data antrian yang tersimpan di kontrol Gardu Tol Otomatis. Selama data antrian klasifikasi kendaraan belum di-reset, maka kesalahan akan terus terjadi.

4.2. Data Kesalahan Klasifikasi Setelah Optimalisasi

Penambahan sensor inframerah pada sistem klasifikasi ini memberikan fungsi untuk mengetahui arah gerakannya kendaraan dengan membandingkan sinyal keluaran *profile scanner* dan sinyal keluaran inframerah pada saat kondisi sinyal high (1) ke sinyal low (0). Dari hasil keluaran sinyal masing-masing sensor *profile scanner* dan inframerah pada saat kendaraan bergerak maju dan kendaraan bergerak mundur, dengan menghitung nilai t_0 (waktu terjadinya perubahan sinyal dari *high* ke *low* untuk sensor *profile scanner*) dan t_1 (waktu terjadinya perubahan sinyal dari *high* ke *low* untuk sensor inframerah), dimana jika $t_0 < t_1$ maka arah kendaraan bergerak maju dan jika $t_0 > t_1$ maka arah kendaraan bergerak mundur. Dengan metoda seperti ini sistem klasifikasi kendaraan terhindar dari kesalahan akibat sistem sebelumnya yang tidak dapat mengetahui jika kendaraan

bergerak mundur.

Dari jumlah data kendaraan keseluruhan yang diperlihatkan dalam Tabel 1 sebanyak 35.452 kendaraan, kesalahan pengklasifikasian kendaraan setelah optimalisasi diperlihatkan dalam Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Data Kesalahan Pengklasifikasian Kendaraan Setelah Optimalisasi

Hari	Jumlah Transaksi (T)	Kesalahan Setelah Optimalisasi (KTO)	Persentase Kesalahan Setelah Optimalisasi (%)
1	2184	3	0,137
2	2163	4	0,185
3	1168	0	0,000
4	1714	1	0,058
5	1104	2	0,181
6	2302	1	0,043
7	2180	2	0,092
8	1172	3	0,256
9	2356	4	0,170
10	2429	2	0,082
11	1149	0	0,000
12	2093	1	0,048
13	2320	1	0,043
14	1844	2	0,108
15	2093	2	0,095
16	2320	1	0,043
17	1844	3	0,163
18	2015	0	0,000
19	1002	2	0,200

Persentase kesalahan setelah optimalisasi dihitung dengan rumus:

$$\frac{\text{Kesalahan Setelah Optimalisasi (KTO)}}{\text{Jumlah Transaksi (T)}} \times 100 \%$$

4.3. Analisa Optimalisasi Klasifikasi

Dari data dalam Tabel 2, diperoleh akumulasi persentase kesalahan klasifikasi kendaraan sebelum optimalisasi dari hari pertama pengujian sampai hari kesembilan belas pengujian sebesar: (0,458 + 0,462 + 0,171 + 0,175 + 0,906 + 0,130 + 0,229 +

0,512 + 0,509 + 0,371 + 0,087 + 0,191 + 0,129 + 0,325 + 0,191 + 0,129 + 0,325 + 0,049 + 0,399)% = 5,748% dan didapatkan nilai rata-rata kesalahan klasifikasi kendaraan dalam sehari adalah 5,748% : 19 = 0,302%.

Dari data dalam Tabel 3, diperoleh akumulasi persentase kesalahan klasifikasi kendaraan setelah optimalisasi dari hari pertama pengujian sampai hari kesembilan belas pengujian sebesar: (0,137 + 0,185 + 0,000 + 0,058 + 0,181 + 0,043 + 0,092 + 0,256 + 0,170 + 0,082 + 0,000 + 0,048 + 0,043 + 0,108 + 0,095 + 0,043 + 0,163 + 0,000 + 0,200)% = 1,904% dan didapatkan nilai rata-rata kesalahan klasifikasi kendaraan dalam sehari adalah 1,904% : 19 = 0,100%.

Perbandingan atau selisih dari data dalam Tabel 2 dan data dalam Tabel 3 dapat memperlihatkan besarnya pengurangan/penurunan persentase kesalahan klasifikasi kendaraan rata-rata sebesar: 0,302% - 0,100% = 0,202%.

5.KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan sensor inframerah sebagai pendeteksi arah Bergeraknya kendaraan dalam sistem klasifikasi kendaraan dapat mengurangi tingkat kesalahan sehingga dapat membedakan kendaraan menurut jenis klasifikasinya.
2. Tingkat kesalahan berkurang secara signifikan, berdasarkan sampel data transaksi untuk persentase kesalahan maximum sebelum penambahan sensor inframerah rata-rata adalah 0,302% dan persentase kesalahan maximum setelah penambahan sensor inframerah rata-rata adalah 0,100% yang artinya ada penurunan kesalahan sebesar 0,202%.

Daftar Pustaka

- [1] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2005 Tentang Jalan Tol Pasal 1

- Available:
<https://bpjt.pu.go.id/peraturan/peraturan-pemerintah>
- [2] Kapsch TrafficCom. "Automatic Vehicle Classification (AVC)"
Available:
<https://www.kapsch.net/ktc/downloads/datasheets/video-sensor/Kapsch-KTC-DS-AVC.pdf?lang=en-US>.
- [3] Baskara, "Dasar Teori ATMEGA16"
Available:
<http://baskarapunya.blogspot.com/2012/09/dasar-teori-atmega16.html>
- [4] Bayu Tenoyo, "Spesifikasi Sistem Automatic Vehicle Classification Menggunakan B-Method", Fakultas Ilmu Komputer Universitas Indonesia Depok 2011.
- [5] Firsia Hari, "Prinsip Kerja Piezoelectric". Available:
<https://www.scribd.com/document/408500404/Prinsip-Kerja-Piezoelectric-1>
- [6] Taufiq Dwi Septian Suyadhi. 2014. Phototransistor. Robotics University
Available:
<https://www.roboticsuniversity.com/2014/10/phototransistor.html>lta.