

IMPLEMENTASI MIKROKONTROLER ARDUINO UNO DAN MINI-COMPUTER RASPBERRY PI 3 DALAM PENGENDALIAN SISTEM GERBANG TOL CERDAS

Raihan Afiq^{*)}, Wahyul Amien, dan Achmad Hidayatno

Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: raihanafiqsiregar@gmail.com

Abstrak

Sistem transaksi yang diterapkan pada gerbang tol saat ini masih kurang efektif untuk mengatasi antrean kendaraan terutama saat hari besar ataupun libur panjang. Meskipun sudah berbasis nirkawat dan "contactless", namun pengguna jalan tol harus mendekatkan kartu RFID e-Toll secara manual selama 4 detik. Hal inilah yang menyebabkan antrean dan kepadatan di beberapa gardu tol. Untuk mengatasi ini, pihak Jasa Marga menggandeng Bank Mandiri untuk mengeluarkan produk On Board Unit sistem e-toll, walau dipasaran kurang laku dimasyarakat karena harganya tidak murah. Pada Penelitian ini akan dirancang suatu sistem Gardu Tol Cerdas yang lebih rendah biaya produksinya, dapat mengidentifikasi kendaraan pengguna jalan tol apakah termasuk pengguna yang terdaftar (RFID) dan belum terdaftar. Sistem yang dirancang ini tidak mengharuskan pengemudi untuk berhenti karena proses transaksi akan dimulai ketika mobil memicu sensor ultrasonik pada gardu tol. Pada sistem transaksi sendiri, dilengkapi kecerdasan pembebanan otomatis sesuai jenis kendaraan yang digunakan pengguna jalan tol. Sistem ini juga mengganti bukti pembayaran transaksi gardu tol yang sekarang ini masih berupa kertas menjadi pesan digital melalui Telegram. Direncanakan sistem ini berjalan tidak lebih dari 8 detik untuk memproses pengguna jalan tol mulai dari pengambilan citra mobil hingga sistem notifikasi muncul tanpa harus berhenti.

Kata Kunci: Toll, IoT, RFID, Sistem Cerdas, Telegram

Abstract

The transaction system applied to the toll gate is currently less effective in overcoming the queue of vehicles, especially during public holidays or long holidays. Although it's based on wireless and "contactless", but toll road users have to juxtapose the e-Toll RFID card manually for 4 seconds. This is what causes the queue and density in several toll booths. To overcome this, Jasa Marga cooperates with Bank Mandiri to issue the e-toll system On Board Unit, even though the market is less popular in the community because the price is not cheap. In this Research will be designed a Smart Toll Station system which has lower production costs which can identify the vehicle of the toll road user, including registered user (RFID) and not registered. This designed system does not require the driver to stop because the transaction process will begin when the car triggers an ultrasonic sensor on the toll booth. In the transaction system itself, equipped with billing intelligence according to the type of vehicle used by toll road users. This system also replaces the payment receipt of toll booth transactions that are currently in the form of paper into digital messages through Telegram. It is planned that this system will run no more than 8 seconds to process toll road users starting from taking the car's image until the notification system appears without having to stop.

Keywords: Toll, IoT, RFID, Smart System, Telegram

1. Pendahuluan

Negara Indonesia memiliki luas wilayah yang terlentang 1,9 juta km². Untuk memenuhi pemerataan pembangunan infrastruktur dan distribusi kebutuhan yang luas, pemerintah sekarang ini menggiatkan proyek pembangunan jalan bebas hambatan atau biasa disebut jalan tol di beberapa daerah. Jalan bebas hambatan yang

dibangun saat ini akan beroperasi secara otomatis atau yang biasa disebut Gerbang Tol Otomatis yang termasuk gerbang tol elektronik. Gerbang Tol Otomatis yang biasa disingkat GTO dalam sistemnya menerapkan sistem dengan teknologi contactless RFID Tag untuk melayani transaksi pengemudi. Pengemudi perlu mendekatkan kartu RFID atau RFID Tag sekitar 4 detik agar alat pembaca RFID mengolah transaksi pengemudi. Dalam

keadaan hari-hari besar, libur panjang, ataupun jam sibuk, sistem GTO ini terkadang menimbulkan antrean yang dapat menghambat laju pengendara karena palang pintu gerbang tol baru terbuka

setelah proses transaksi selesai diproses oleh sistem GTO. Hal ini menyebabkan jalan bebas hambatan tidak bekerja sesuai fungsinya. Kepadatan yang terjadi pada gardu tol ini langsung atau tidak langsung dapat menyebabkan gangguan kesehatan [1]. Bukti pembayaran transaksi jalan bebas hambatan di Indonesia sekarang ini juga kurang ramah lingkungan karena masih menggunakan kertas yang biasanya dibuang setelah diterima pengendara.

Penelitian lebih lanjut tentang ETC tersebut telah dilakukan beberapa peneliti dengan meningkatkan kecanggihan sistem ETC itu sendiri. Omsakthi dkk. merancang sebuah sistem pembayaran gerbang tol berdasarkan lokasi kendaraan di jalan menggunakan sinyal Global Navigation Satellite Systems [2]. Bhavke dkk. merancang sistem pembayaran tol berbasis RFID dengan perangkat reader menggunakan Arduino Mega [3]. Punniamoorthy dkk. merancang sistem gerbang tol menggunakan FPGA Xilinx Spartan 3AN sebagai perangkat utama pengontrol sistem [4]. Geetha dkk. merancang sistem gerbang tol menggunakan teknologi Bluetooth Low Energy sebagai pembaca RFID tag user [5]. Devi dkk. merancang sistem pembayaran tol menggunakan Automatic Number Plate Recognition sebagai inti dari sistemnya menggunakan ANPR RoadWolf Infrared Video Cameras [6]. Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian yang telah dilakukan oleh Arief [7] serta Akbar [8], keduanya merancang sistem pembayaran gerbang tol dengan media pembayaran RFID dan notifikasi berupa SMS dan Telegram, namun belum dilengkapi kecerdasan untuk mengidentifikasi kendaraan pengguna tol tersebut.

Dari latar belakang ini, maka dibuat penelitian tentang rancangan atau purwarupa sistem Gardu Tol Cerdas (GTC) ramah lingkungan berbasis nirkawat dan mikrokontroler dengan notifikasi pembayaran via Telegram messenger, yang akan berdampak pada pengurangan biaya operasional serta pengurangan penggunaan kertas dengan menggunakan Telegram messenger untuk mengirim bukti pembayaran.

2. Metode

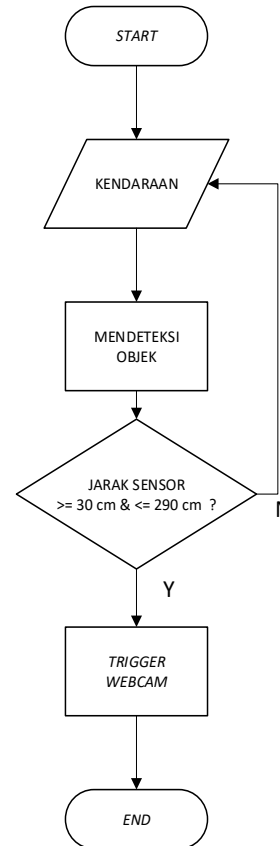
2.1. Algoritma dan Diagram Alir Subsystem Kontrol GTC

Pada bagian ini menjelaskan bagaimana proses pengontrolan pada sistem GTC melalui algoritma dan diagram alir. Terjadi 2 proses pengontrolan pada sistem GTC yaitu pengontrolan blok citra dan pengontrolan blok UART Raspberry.

2.1.1. Kontrol Blok Citra Sistem GTC

Citra kendaraan diambil menggunakan webcam. Webcam dikontrol menggunakan metode sistem kontrol on-off.

Keadaan on terjadi apabila sensor ultrasonik mendeteksi objek pada jarak 30 cm hingga 290 cm, selain itu berada pada keadaan off. Hal ini disesuaikan pada RSNI[1] gardu tol Indonesia. Rancangan sistem kontrol ini didesain menggunakan Node-RED Development Tool. Proses terjadinya kontrol blok citra ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir sistem kontrol blok citra GTC

Masukan pada gambar 1 adalah kendaraan yang melewati gardu tol. Jika kendaraan masuk dan sensor terhalang badan kendaraan, maka sensor ultrasonik membaca jarak dalam rentang 30 cm hingga 290 cm. Logika sistem menjadi 1 sehingga memicu webcam dan mengaktifkan blok citra GTC. Jika jarak yang terdeteksi diluar rentang tersebut, maka sistem berlogika 0 dan blok citra menjadi non-aktif.

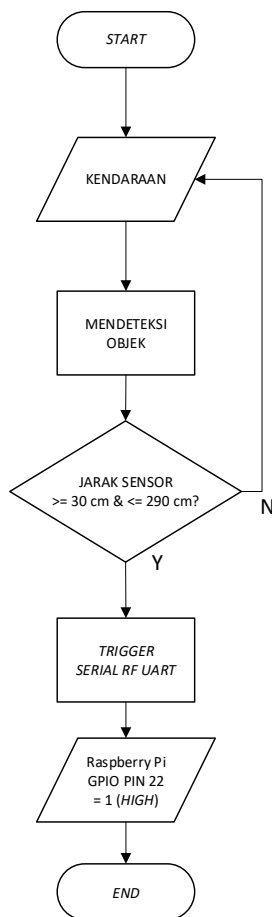
Perancangan jarak 30 cm hingga 290 cm ini dibuat menyesuaikan dengan RSNI Standar Geometri Jalan Bebas Hambatan untuk jalan tol.

Sensor ultrasonik yang digunakan pada sistem GTC yaitu HC-SR04.

2.1.2. Kontrol Blok UART Raspberry

Komunikasi UART antara Raspberry dengan HC-12 dikontrol pula menggunakan sensor ultrasonik dengan

kondisi yang sama seperti pengontrolan blok citra. Dilakukan dengan merekayasa pin set pada modul RF HC-12. Jika logika pin set bernilai 0, maka RF HC-12 memasuki mode AT command atau attention. AT command digunakan untuk mengkonfigurasi parameter pada suatu modem. Ketika dalam mode attention, modul HC-12 tidak dapat mengirim atau menerima informasi selain perintah-perintah AT command, sehingga OBU Reader tidak akan menerima UID User GTC yang dikirimkan OBU pada kendaraan. Disisi lain, jika pin set HC-12 berlogika 1 (HIGH), maka modul tersebut akan menerima pesan secara FIFO. Untuk konfigurasi HC-12 pada sistem GTC ini di setting dengan baud rate 115200 bps, daya pancar -0,1 dBm (0.00097 Watt), menggunakan mode FU1 (low power mode, arus idle 3,6 mA, air baud rate 250000 bps)[12]. Konfigurasi HC-12 ini dilakukan untuk memenuhi spesifikasi komunikasi RF dengan jarak maksimal 5 meter sesuai RSNI, untuk menghindari interferensi sinyal RF antar gardu tol. Diagram alir pengontrolan blok UART ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir pengontrolan blok UART Raspberry

Algoritma sistem ini seperti dengan pengontrolan blok citra sistem GTC, hanya saja untuk pengontrolan

diimplementasikan pada pin set modul RF HC-12 yang terhubung dengan GPIO Raspberry pin 22.

2.2. Pemrograman Subsistem Kontrol GTC

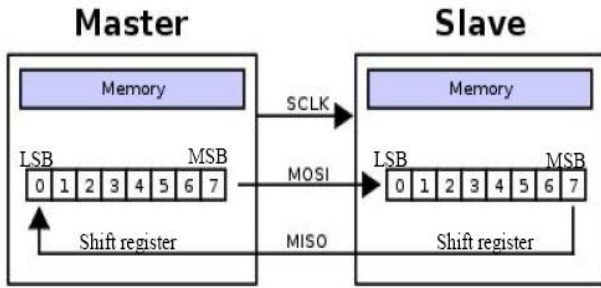
Perancangan program subsistem pada purwarupa gerbang tol cerdas ramah lingkungan ini menggunakan aplikasi Arduino IDE untuk memprogram pembacaan RFID Tag pada RFID Reader MRFC522 dan juga pengiriman RFID UID DARI OBU ke OBU Reader melalui modul komunikasi UART HC-12. Selain itu juga menggunakan aplikasi yang ter-install dalam perangkat keras Raspberry Pi 3 bernama Node-RED. Perancangan program ini menggunakan bahasa pemrograman javascript dikarenakan Node-RED dirancang menggunakan tool Node.js yang berorientasi dengan bahasa pemrograman Javascript.

2.2.1. Pemrograman Pembacaan RFID UID pada OBU

Komunikasi antara TAG RFID dan RFID Reader menggunakan komunikasi serial USART. Untuk membaca dan menulis data ke memory TAG menggunakan Komunikasi SPI (Serial Peripheral Interface) yang dilakukan oleh Arduino Uno dan diprogram melalui aplikasi Arduino IDE. Komunikasi SPI (Serial Peripheral Interface) ini menggunakan library SPI.h pada Arduino IDE. Library SPI.h adalah library yang khusus bertugas menangani komunikasi serial sinkron SPI di Arduino.

Komunikasi Serial sinkron atau yang biasa disebut USART adalah protokol komunikasi data yang membutuhkan jalur clock untuk sinkronisasi antara transmitter dan receiver-nya. Komunikasi SPI (Serial Peripheral Interface) memiliki 3 jalur kabel yakni MISO (Master In Slave Out), MOSI (Master Out Slave In), dan SCLK (Serial Clock). MOSI merupakan jalur pengiriman data dari master ke slave, sedangkan MISO merupakan kebalikannya. Biasanya ada satu tambahan pin yang digunakan untuk mengaktifkan/menoaktifkan perangkat slave SPI yang dinamakan CS (Chip Select) atau SS (Slave Select). Pin CS/SS bersifat spesifik untuk tiap perangkat slave yang menggunakan komunikasi SPI, jadi bisa berbeda-beda untuk masing-masing perangkat. Ilustrasi cara kerja protokol SPI ini ditunjukkan pada Gambar 3.

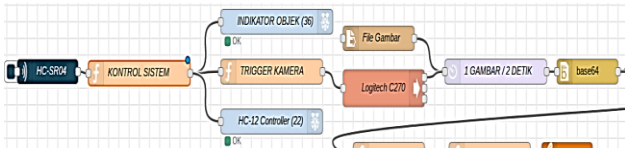
Pada MRFC522 byte pertama yang dikirim oleh master akan didefinisikan sebagai alamat byte dan mode MRFC522 sendiri, sehingga pembacaan data pada master akan dimulai pada byte kedua. MSB bit pada byte pertama akan menentukan kegunaan dari MRFC522. Apabila digunakan untuk membaca maka bit MSB nya harus bernilai 1 dan apabila untuk menulis maka bernilai 0 dan pada LSB harus bernilai 0, dan bit selain itu berisikan alamat.



Gambar 3. Cara kerja Protokol SPI [9]

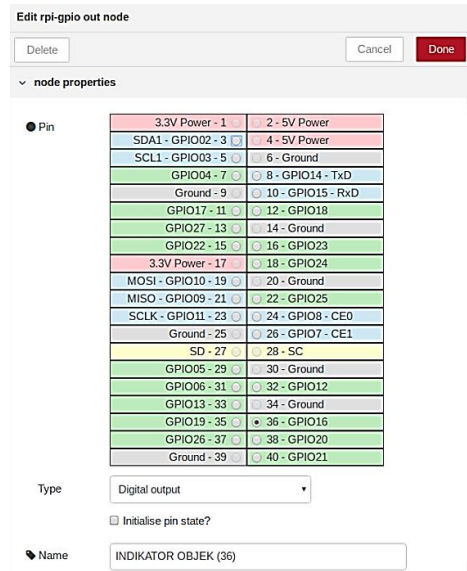
2.2.2. Pemrograman Pengontrolan Blok Citra, Komunikasi UART, dan Delay Menggunakan Node-Red

Blok kontrol diimplementasikan pada OBU Reader. Pemrograman blok kontrol dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Node-RED yang terdapat pada Raspberry. Blok kontrol berfungsi untuk mengontrol 3 hal yaitu mengontrol webcam untuk mengambil citra kendaraan, mengontrol komunikasi serial UART, dan mengatur delay sistem. Blok kontrol pada Node-RED ditunjukkan pada Gambar 4.



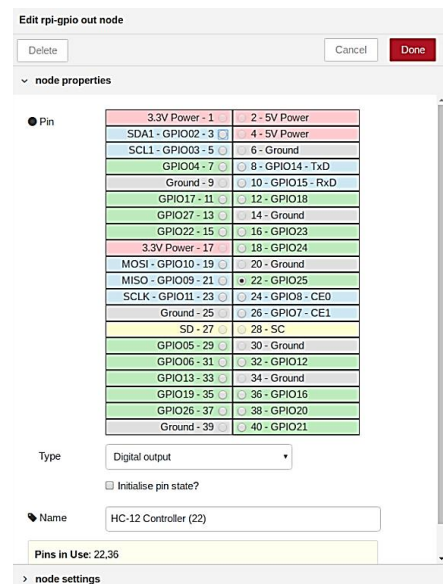
Gambar 4. Implementasi blok kontrol pada Node-RED.

Node python HC-SR04 merupakan node awal untuk mengukur jarak objek.. Node python HC-SR04 diteruskan ke function node KONTROL SISTEM. Jika keluaran sensor ultrasonik bernilai ≤ 290 cm dan ≥ 30 cm maka berada pada kondisi 1. Jika keluaran sensor ultrasonik bernilai selain nilai tersebut maka berada pada kondisi 0. Keluaran function node KONTROL SISTEM menjadi masukan pada Node INDIKATOR OBJEK (36), Node HC-12 Controller (22), dan Function node TRIGGER KAMERA. Node INDIKATOR OBJEK (36) menunjukkan pengontrolan pada kondisi 0 atau 1. Konfigurasi Node INDIKATOR OBJEK (36) ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Konfigurasi Node Indikator Objek.

Node INDIKATOR OBJEK (36) yang ditunjukkan pada Gambar 5. dihubungkan dengan pin 36 (GPIO16). Hal ini dilakukan karena pin 36 dihubungkan pada LED hijau yang dipasang pada OBU Reader. Jika kondisi 0 (active low) akan menghidupkan LED hijau, yang menandakan sistem GTC siap untuk memproses kendaraan. Node HC-12 Controller (22) berfungsi memicu komunikasi modul HC-12. Jika node INDIKATOR OBJEK (36) pada kondisi 0 (LED hidup), maka RF HC-12 memasuki mode AT command (attention), sehingga tidak bisa menerima pesan dari OBU. Jika node INDIKATOR OBJEK (36) pada kondisi 1 (LED padam), maka modul tersebut menerima pesan yang dikirim OBU. Konfigurasi HC-12 Controller (22) ditunjukkan pada Gambar 6.

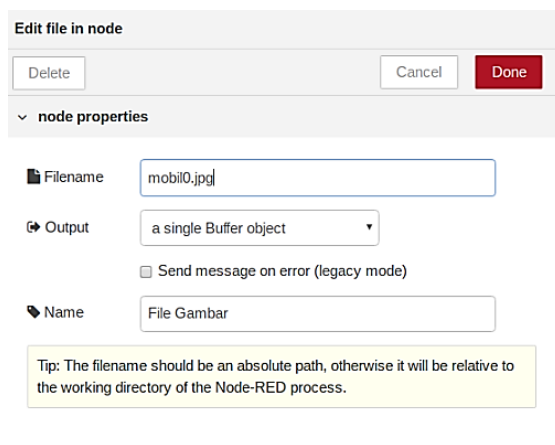


Gambar 6. Konfigurasi Node HC-12 controller.

Node HC-12 controller yang ditunjukkan pada Gambar 6. dihubungkan dengan pin 22 (GPIO25). Hal ini dilakukan karena pin 22 dihubungkan pada pin SET HC-12, sehingga jika kondisi 0 maka HC-12 berada pada mode AT Command dan jika kondisi 1 maka HC-12 dapat menerima data.

Function node TRIGGER KAMERA berfungsi untuk mengaktifkan webcam.

Node Logitech C270 berguna memicu kamera untuk mengambil gambar. Node File gambar berisi gambar pelat mobil yang tersedia untuk simulasi sistem. Konfigurasi Node File gambar ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Konfigurasi Node File Gambar

Konfigurasi node File Gambar berisi nama file gambar yang telah disimpan pada Raspberry. Dalam Gambar 7., terlihat nama gambar yang digunakan adalah mobil0.jpg. Node 1GAMBAR/2DETIK berfungsi mengatur delay. Pengaturan delay perlu dilakukan pada sistem agar berjalan sesuai dengan yang dirancang. Pengambilan gambar oleh webcam diberi batasan 1 gambar tiap 2 detik sebelum diproses pada node base64. Hal ini dilakukan karena batasan sistem GTC mengatur kecepatan mobil pada 10-15 km/jam. Kecepatan tersebut membuat keseluruhan badan mobil membutuhkan waktu 2 detik untuk melewati sensor ultrasonik, sehingga waktu selisih antara satu mobil dengan mobil yang berada dibelakang berkisar selama 2 detik.

3. Hasil dan Analisis

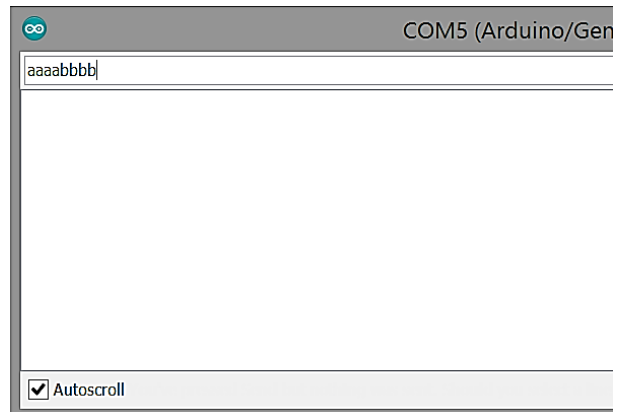
3.1. Pengujian Kinerja Modul RF HC -12

Pengujian modul RF HC-12 dilakukan dengan mengirim pesan dari mikrokontroler arduino ke Raspberry dengan variasi panjang string dan variasi jarak antar modul RF. Skenario pengujian ini diawali dengan mengunduh sketch yang digunakan untuk mengirim pesan antar modul RF HC-12. Langkah selanjutnya adalah menyambungkan pin set HC-12 dengan pin ground Arduino. Setelah itu, sketch

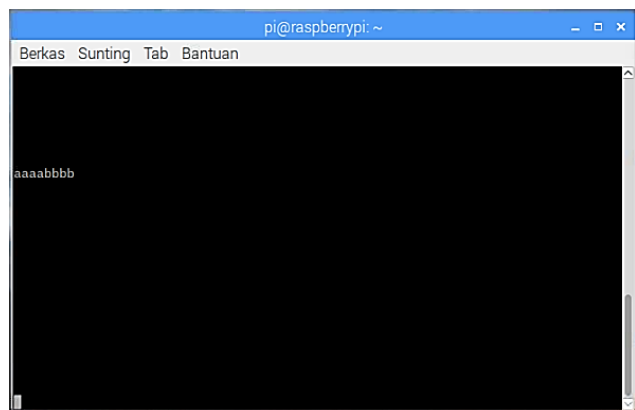
diunggah ke Arduino melalui Arduino IDE. Langkah berikutnya membuka serial monitor pada Arduino IDE dan mengetikkan AT pada serial monitor.

Untuk jarak 2 hingga 5 meter dilakukan di lokasi laboratorium Komunikasi dan Pengolahan Sinyal serta pada lapangan.

OBU terhubung dengan Laptop dikarenakan Arduino IDE hanya dapat diakses melalui komputer atau laptop. Contoh keluaran hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 8.



(a)



(b)

Gambar 8. Pengujian dengan 8 string (a) saat mengirim pesan dan (b) saat menerima pesan

Gambar 8. menunjukkan bahwa pesan yang dikirim dapat diterima dengan baik. Hal tersebut dibuktikan dengan susunan string yang dikirim sama dengan susunan string yang diterima. Data hasil pengujian modul RF HC-12 ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian modul RF HC-12

Jarak antar Modul	Panjang String Pesan Dikirim	Panjang String Pesan Diterima	Keakuratan Pesan
1	8	8	100%
1	16	16	100%
1	32	32	100%
2	8	8	100%
2	16	16	100%
2	32	32	100%
3	8	8	100%
3	16	16	100%
3	32	32	100%
4	16	16	100%
4	32	32	100%
5	8	8	100%
5	16	16	100%
5	32	32	100%
6	8	0	0%
6	16	0	0%
6	32	0	0%

* string 8 = aaaabbbb
 ** string 16 = aaaabbbbccccdddd
 *** string 32 = aaaabbbbccccddddeeeeffffgggghhhh

Dari Tabel 1., menunjukkan bahwa modul RF HC-12 dengan konfigurasi tersebut didapat spesifikasi jarak pembacaan maksimum adalah 5 meter dan mampu mengirim pesan dengan panjang karakter atau string sebesar 32 karakter. Ketika jarak lebih dari 5 meter, string tidak dapat diterima sama sekali.

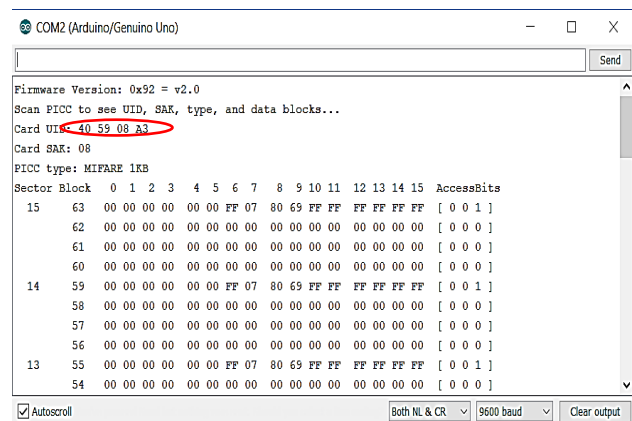
String RFID UID memiliki panjang string sepanjang 12 karakter, sehingga konfigurasi baud rate 115200 bps, daya pancar -1 dBm (0.0008 Watt), mode FU1 (low power mode, arus idle 3,6 mA, air baud rate 250000 bps), dan saluran frekuensi 433,4 MHz (kanal 1), mampu mengirimkan RFID UID ke OBU Reader dengan baik.

3.2 Pengujian Kinerja Modul RFID MFRC522

Pengujian kinerja modul RFID dilakukan dengan memvariasikan jarak pembacaan 5 RFID tag. Pengujian ini dilakukan dengan kondisi gain antena adalah 48 dB (bit 111) yang merupakan nilai gain maksimum. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai pada senarai pada library MFRC522 dan datasheet

Skenario pengujian diawali dengan membuat tabel pengujian yang dilanjutkan dengan mengunggah skecth example untuk menunjukkan RFID UID pada serial monitor. Kemudian membuka serial monitor pada Arduino IDE dan melihat keluaran serial monitor Arduino ketika RFID tag didekatkan.

Keluaran hasil pengujian modul RFID MFRC522 ditunjukkan pada Gambar 9. berikut.



Gambar 9. Tampilan RFID UID hasil pengujian di serial monitor Arduino

Lingkaran merah adalah RFID UID dari RFID tag yang sedang diuji. RFID UID tersebut bernilai 40 59 08 A3. Hasil pengujian kinerja modul RFID MFRC522 yang diimplementasikan pada OBU ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian kinerja modul RFID MFRC522

RFID UID	Jarak antara Tag dengan Reader (cm)	Kondisi
40 59 08 A3	2	Terbaca
40 59 08 A3	3	Terbaca
40 59 08 A3	4	Terbaca
40 59 08 A3	5	Tidak Terbaca
45 0A 84 28	2	Terbaca
45 0A 84 28	3	Terbaca
45 0A 84 28	4	Terbaca
45 0A 84 28	5	Tidak Terbaca
F5 12 A7 28	2	Terbaca
F5 12 A7 28	3	Terbaca
F5 12 A7 28	4	Terbaca
F5 12 A7 28	5	Tidak Terbaca
65 7B D3 28	2	Terbaca
65 7B D3 28	3	Terbaca
65 7B D3 28	4	Terbaca
65 7B D3 28	5	Tidak Terbaca
B5 BF 8E 28	2	Terbaca
B5 BF 8E 28	3	Terbaca
B5 BF 8E 28	4	Terbaca
B5 BF 8E 28	5	Tidak Terbaca

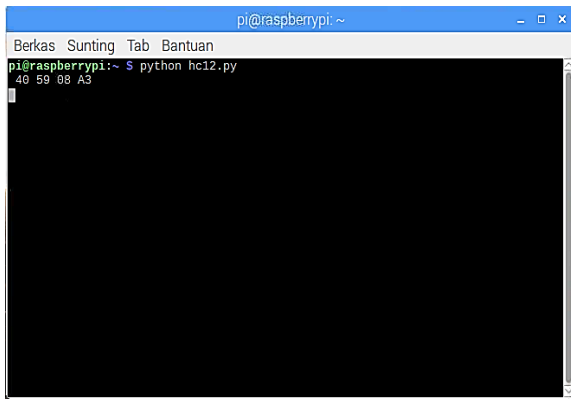
Dari Tabel 2. menunjukkan bahwa jarak maksimum pembacaan RFID Tag oleh modul MFRC522 adalah sejauh 4 cm pada Gain antena 48 dB. Ketika lebih dari 4 cm, serial monitor tidak memunculkan RFID UID

Hal tersebut sudah memenuhi spesifikasi dari perangkat keras OBU. Modul RFID terpasang didalam casing dan terpisah sejauh 3 cm dari penahan RFID Tag yang terletak diluar casing.

3.3. Pengujian Jarak Pembacaan OBU – OBU Reader

Pengujian jarak pembacaan OBU dilakukan untuk memastikan integrasi antar modul pada OBU dan OBU Reader tidak mempengaruhi spesifikasi dan kinerja dari sistem GTC yang diharapkan.

Skenario pengujian ini dilakukan dengan membaca RFID UID dari OBU dengan memvariasikan jarak (interval 1 meter) yang dilakukan secara statis pada jalan. Tampilan pembacaan ketika pengujian pada jarak 1, 3, dan 6 meter. Pengujian 3m ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Jarak pengujian 3 meter

Data hasil pengujian jarak pembacaan OBU ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian jarak pembacaan OBU

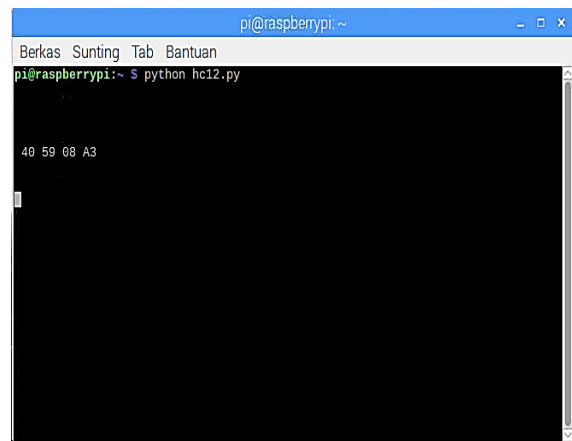
Jarak OBU (m)	Kondisi Pembacaan	UID RFID (Raspberry Terminal)	UID RFID (Node-RED)
1	Diterima	40 59 08 A3	40 59 08 A3
2	Diterima	40 59 08 A3	40 59 08 A3
3	Diterima	40 59 08 A3	40 59 08 A3
4	Diterima	40 59 08 A3	40 59 08 A3
5	Diterima	40 59 08 A3	40 59 08 A3
6	Tidak Diterima	-	-

Dari hasil pengujian pada Tabel 3., diketahui bahwa kinerja dan spesifikasi komunikasi antara OBU dengan OBU Reader tidak mengalami perubahan setelah modul-modul tiap subsistem diintegrasikan. Jarak pembacaan RFID UID tetap pada jarak maksimum 5 meter dengan panjang string 12 karakter baik pada pengujian di terminal Raspberry maupun pada Node-RED Development Tool. Alasan pembatasan jarak pembacaan maksimum sebesar 5 meter adalah untuk mengatasi interferensi pembacaan RFID UID antar gardu tol. Jarak antar gardu tol memiliki perbedaan jarak sebesar 5 meter sesuai SNI geometri jalan bebas hambatan Indonesia[1].

3.4. Pengujian Respon Pembacaan OBU – OBU Reader

Pengujian respon pembacaan OBU dilakukan untuk mengetahui pengaruh kecepatan terhadap pembacaan OBU Reader. Pengujian ini dilakukan pada ruas jalan menggunakan kendaraan bermotor yang membawa OBU dan memvariasikan laju kendaraan. Jarak antara OBU Reader dan kendaraan terletak pada rentang 2 hingga 3 meter yang ditunjukkan oleh solatip warna coklat pada Gambar 11. Jarak pengukuran diukur dari pembatas jalan yang terdapat OBU Reader hingga tembok pos penjaga (5 meter).

Skenario pengujian ini diawali dengan mengukur lebar jalan dan menandai dengan solatip setiap 1 meter (diukur dari pos jaga). Selanjutnya meletakkan OBU yang tersupply melalui powerbank pada motor. Setelah itu, kendaraan meningkatkan laju setiap melewati perangkat OBU Reader. Langkah berikutnya adalah memonitor keluaran pada terminal Raspberry yang kemudian dilanjutkan dengan skenario pada Node-RED. Hasil pengujian dengan kecepatan kendaraan 40 km/jam pada terminal Raspberry ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Pembacaan RFID UID OBU Reader (kecepatan 40 km/jam)

Gambar 11. menunjukkan keluaran hasil pengujian yang ditampilkan pada Raspberry terminal ketika membaca RFID UID 40 59 08 A3.

Hasil pengujian jarak pembacaan OBU yang telah dilakukan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengujian respon pembacaan OBU

Kecepatan OBU (km/jam)	Kondisi Pengontrol	Kondisi Port UART	Kondisi Webcam
10	ON (1)	ON (1)	ON (1)
20	ON (1)	ON (1)	ON (1)
30	OFF (0)	OFF (0)	OFF (0)

Dari hasil pengujian pada Tabel 4. menunjukkan bahwa OBU Reader mampu menerima pesan dari OBU pada

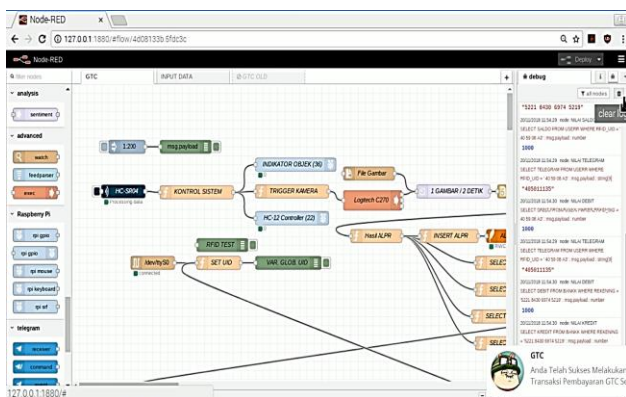
kendaraan yang melaju hingga 70 km/jam. Hal ini disebabkan karena konfigurasi modul RF HC-12 yang diatur menggunakan baud rate tertinggi yang dapat diampu oleh modul, yaitu 115200 baud per second, sehingga kecepatan transmisi dari transmitter ke receiver dapat dikirim secara cepat ketika receiver tercakup beamwidth dari modul transmitter.

3.5. Pengujian Sistem Kontrol GTC

Pengujian sistem kontrol GTC dilakukan untuk mengetahui spesifikasi dari pengontrolan webcam dan port UART.

Skenario pengujian ini diawali dengan memasang OBU pada USB port yang terdapat pada mobil. Langkah selanjutnya adalah memonitor keluaran pada debug node Node-RED ketika kendaraan melewati sensor ultrasonik pada sistem GTC.

Tampilan Node-RED ketika pengujian dilakukan ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Tampilan Node-RED saat pengujian dengan mobil (10 km/jam)

Gambar 12. Menunjukkan bahwa sistem kontrol dapat berjalan dengan kecepatan kendaraan 10 km/jam yang dibuktikan dengan keluarnya notifikasi output tiap debug node hingga munculnya notifikasi pada Bot Telegram. Namun ketika dilakukan pengujian pada kecepatan 20 km/jam, keluaran OpenALPR tidak menghasilkan payload pelat nomor sehingga proses tidak dilanjutkan pada alir berikutnya. Sedangkan pada kecepatan 30 km/jam, sistem tidak mengeluarkan apapun karena sensor tidak dapat mendeteksi objek yang lewat.

Data hasil dari pengujian ditunjukkan pada Tabel 5.

Dari hasil pengujian pada Tabel 5. menunjukkan bahwa sistem GTC mampu merespon objek kendaraan yang bergerak dengan kecepatan maksimal 20 km/jam.

Tabel 5. Pengujian sistem kontrol GTC

Kecepatan OBU (km/jam)	Kondisi Pembacaan	UID RFID (Raspberry Terminal)	UID RFID (Node-RED)
10	Diterima	40 59 08 A3	40 59 08 A3
20	Diterima	40 59 08 A3	40 59 08 A3
30	Diterima	40 59 08 A3	40 59 08 A3
40	Diterima	40 59 08 A3	40 59 08 A3
50	Diterima	40 59 08 A3	40 59 08 A3
60	Diterima	40 59 08 A3	40 59 08 A3
70	Diterima	40 59 08 A3	40 59 08 A3
80	Tidak Diterima	-	-

4. Kesimpulan

Modul RF HC-12 dengan konfigurasi baud rate 9600 didapat spesifikasi jarak pembacaan maksimum adalah 5 meter dan mampu mengirim pesan dengan panjang karakter atau string sebesar 32 karakter. Ketika jarak lebih dari 5 meter, string tidak dapat diterima sama sekali yang ditunjukkan. Jarak maksimum pembacaan RFID Tag oleh modul MFRC522 adalah sejauh 4 cm pada Gain antenna 48 dB. Ketika lebih dari 4 cm, serial monitor tidak memunculkan RFID UID. Kinerja dan spesifikasi komunikasi antara OBU dengan OBU Reader tidak mengalami perubahan setelah modul-modul tiap subsistem diintegrasikan. Jarak pembacaan RFID UID tetap pada jarak maksimum 5 meter dengan panjang string 12 karakter baik pada pengujian di terminal Raspberry maupun pada Node-RED Development Tool. OBU Reader mampu menerima pesan dari OBU pada kendaraan yang melaju hingga 70 km/jam. Sistem GTC mampu mendeteksi objek kendaraan yang melewati sensor dengan kecepatan maksimal 30 km/jam dikarenakan pembacaan sensor ultrasonik setiap 1 detik.

Referensi

- [1]. Sodikin, "Kajian Masalah Antrian Pada Sistem Pengumpulan Tol Konvensional Terhadap Rancangan Sistem Pengumpulan Tol Elektronik," Undip, 2006.
- [2]. A. A. Chapate and D. D. Nawgaje, "Electronic Toll Collection System Based on ARM," vol. 4, no. 1, pp. 46–49, 2015.
- [3]. R. Omsakthi, "Automatic Toll collection system using GNSS signal," vol. 1, no. 10, pp. 142–145, 2014.
- [4]. S. Mahajan et al., "Automatic Toll Gate System Using Advanced RFID and GSM Technology," vol. 4, no. 1, pp. 565–568, 2016.
- [5]. D. Punniamoorthy and P. V. Kumar, "Modified Toll Gate System with Enhanced Security Using FPGA," vol. 4, no. 2, pp. 52–61, 2014.
- [6]. M. Geetha, B. Sangeetha, J. Vidhya, S. Ramya, and L. N. K. Ragavi, "Automatic Toll Gate Payment System Using Hybrid Mechanism," no. 9, pp. 18–21, 2016.
- [7]. M. A. Fatkhurrahman and W. A. Syafei, "Perancangan Prototipe Sistem Gerbang Tol Cerdas Berbasis Rfid Dan Notifikasi Pembayaran Via Social Messenger," TRANSIENT, vol. VOL. 6, NO, 2017.

- [8]. A. F. Listyono and W. A. S, "Perancangan Prototipe Identifikasi Kendaraan Jalan Tol Berbasis Rfid Dan Notifikasi Pembayaran Via Sms," *TRANSIENT*, vol. VOL.4, NO., 2015.
- [9]. Ajie, "Menangani Komunikasi Serial Sinkron SPI di Arduino," *saptaji.com*, 2015. [Online]. Available: <http://saptaji.com/2015/07/29/menangani-komunikasi-serial-sinkron-spi-di-arduino/>.