RANCANG BANGUN SISTEM VISUALISASI PEMBACAAN SENSOR GARIS PADA *LINE FOLLOWER ROBOT* BERBASIS KOMUNIKASI *WIRELESS*

Ahmad Sirojuddin[1], Ponco Siwindarto[2], Akhmad Zainuri[3]
Teknik Elektro Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono No.167 Malang 65145 Indonesia
E-mail: sirojuddin.p@gmail.com

Abstrak

Line follower merupakan robot yang memiliki tugas untuk berjalan mengikuti garis yang terdapat pada lintasan. *Line follower* memiliki sensor garis yang dapat mengindra posisi robot relatif terhadap garis. Namun, sering kali terjadi kesalahan pembacaan oleh sensor garis robot *line follower* yang diakibatkan oleh berbagai faktor baik dari dalam maupun dari luar. Sayangnya, proses *troubleshooting* pada sensor garis ini sulit karena dinamika pembacaannya yang tidak kasa mata. Oleh karena itu, dibuatlah suatu sistem visualisasi pembacaan sensor yang mampu merekam serta memvisualisasikan dinamika pembacaan sensor garis pada PC. Sistem terdiri atas beberapa bagian, antara lain sensor garis sebagai *input* dari sistem, mikrokontroler untuk mengolah data hasil pembacaan dan mengubahnya menjadi paket data, modul *bluetooth* HC-05 sebagai media transmisi data, dan program visual komputer sebagai penampil hasil pembacaan. Dalam pengujian, didapatkan hasil sebagai berikut : *output* rangkaian TCRT500 sebesar 2,64 V untuk permukaan hitam dan 159,2 mV untuk permukaan putih; rangkaian *logic level shifter* menaikkan tegangan dari 2,98 V menjadi 4,92 V; jarak maksimal komunikasi antar *bluetooth* sebesar 8 m untuk posisi horizontal dan 35 m untuk posisi vertikal; laju pengiriman paket data sebesar 95,98 paket data per detik dan penambahan ukuran *file datalogger* sebesar 4,17 KB per detik.

Kata kunci: Sensor garis, komunikasi nirkabel, program GUI komputer, *stream* data.

Abstract

Line follower is robot that has a task to walk follows a line in a track. This robot has a sensor that can sense the robot position relative to the line. However, often times there is an error reading by the line sensor caused by various factor both from within and form outside of the sensor. Unfortunately, the troubleshooting process to this sensor is difficult because the dynamical reading of this sensor is not stank eye. Therefore, We do a research about line sensor readout visualization system that can record the readings on the PC. The system consist of several part, including a line sensor as the input of the system, the microcontroller to process data readings and converts it into data packets, Bluetooth module HC-05 as a data transmission device, and computer program as a viewer the result of the readings. In the test, following results are obtained : TCRT5000 circui output 2.64 V on a black surface and 159,2 mV on a white surface; logic level shifter circuit can raise 2.98 voltage to 4.92 V; the maximum distance between two Bluetooth pairing is 8 m for horizontal position and 35 m for vertical position; speed of packet data transfer is 95.98 per second and data logger size increases 4.17 KB per second.

***Keyword**: :Line sensor, wireless communication, GUI program, data stream*

I. PENDAHULUAN

Line follower merupakan sebuah robot yang memiliki tugas untuk berjalan mengikuti garis yang terdapat pada lintasan. *Line follower* memiliki sensor garis yang dapat mengindra posisi robot relatif terhadap garis. Oleh karena itu, peranan dari sensor garis pada robot *line follower* sangatlah penting.

Akan tetapi, sering kali terjadi kesalahan pembacaan oleh sensor garis robot *line follower*. Pangkal dari terjadinya kesalahan ini adalah ketidaksesuaian nilai ADC yang terbaca oleh sensor dibandingkan dengan nilai yang seharusnya.

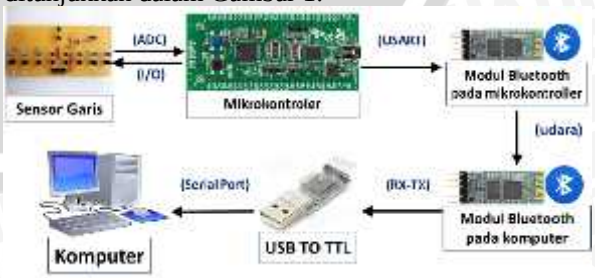
Sayangnya, masalah-masalah ini sulit sekali dideteksi dan ditangani oleh perancang robot. Kesulitan ini disebabkan oleh tidak tampaknya dinamika pembacaan sensor ketika sedang beroperasi. Kendala lain adalah tidak dimungkinkannya pengimplementasian alat ukur atau instrumen listrik ketika robot sedang berada di lintasan, terutama ketika robot sedang berjalan.

Oleh karena itu, peneliti bermaksud untuk membuat sistem visualisasi pembacaan sensor garis robot *line follower* pada skripsi ini. Sistem nantinya akan dapat menampilkan nilai pembacaan dari tiap-tiap unit sensor.

II. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

A. Perancangan Blok Diagram Sistem

Blok Diagram sistem secara keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram Keseluruhan

[1] Ahmad Sirojuddin adalah mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (no. telepon korespondensi penulis 085791311160; email: Sirojuddin.p@gmail.com)
[2] Ponco Siwindarto adalah dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia
[3] Akhmad Zainuri adalah dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

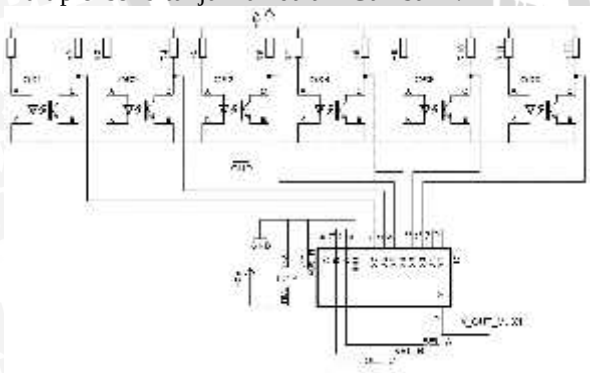
Posisi robot *line follower* relatif terhadap garis dibaca oleh sensor garis. Dalam perancangan ini, sensor garis terdiri atas 12 unit rangkaian sensor cahaya TCRT5000. Tiap unit rangkaian sensor cahaya TCRT5000 menghasilkan suatu nilai tegangan tertentu yang merepresentasikan banyaknya pantulan cahaya yang diterima oleh bagian *receiver* sensor cahaya TCRT5000. Kedua belas data analog yang berasal dari sensor garis ini dibaca oleh pin ADC mikrokontroler. Sebelum membaca nilai ADC, mikrokontroler terlebih dahulu mengatur pin selektor pada IC multiplekser pada sensor garis untuk memilih sensor mana yang akan dibaca nilai ADCnya.

Setelah kedua belas data analog dari masing-masing unit rangkaian sensor cahaya TCRT5000 dibaca oleh mikrokontroler, data ini diolah dan dibentuk menjadi sebuah paket data dalam bentuk string. String ini kemudian dikirimkan oleh mikrokontroler ke modul *bluetooth* HC-05 yang terhubung dengannya melalui komunikasi serial USART melalui pin TX. Paket data ini kemudian dipancarkan oleh modul *bluetooth* ke udara dan diterima oleh modul *bluetooth* HC-05 lain yang terpasang pada komputer. Kedua *bluetooth* – yang terhubung dengan mikrokontroler dan yang terhubung dengan komputer – telah diset *pairing* sebelumnya.

Paket data yang diterima oleh modul *bluetooth* yang lain kemudian dikirimkan ke komputer melalui modul USB to TTL. Setelah sampai pada komputer, paket data dipecah lagi menjadi unit-unit data tiap sensor cahaya TCRT5000. Data-data ini kemudian divisualisasikan pada layar monitor komputer dengan beberapa mode visualisasi menggunakan *software* yang telah dibuat sebelumnya. Selain ditampilkan, data-data ini dapat disimpan menjadi sebuah *file datalogger* selama proses visualisasi. Di lain waktu, *file data logger* ini dapat divisualisasikan kembali pada monitor komputer untuk mempermudah jika dibutuhkan untuk analisis lebih lanjut.

B. Perancangan Rangkaian Sensor Garis

Skematik rangkaian sensor cahaya dan multiplekser ditunjukkan dalam Gambar 2.

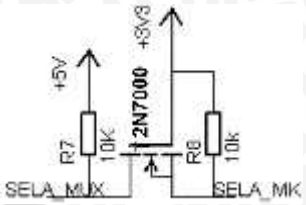


Gambar 2 Skematik Sensor Cahaya

Sensor terdiri atas 12 unit TCRT5000. *Transmitter* TCRT5000 diseri dengan resistor 330 Ω sehingga menghasilkan arus 11,4 mA[1]. Bagian *receiver* TCRT5000 diseri dengan resistor 10 kΩ sehingga menghasilkan perbedaan *output* tegangan yang cukup jauh ketika mendapat sedikit dan banyak gelombang IR. Kedua belas *output* tegangan dihubungkan dengan dua buah IC multiplekser 4051[2] (masing-masing enam) dan kanal *common* multiplekser dihubungkan dengan resistor variabel agar menurunkan tegangan secara linier dari 0 – 5 V menjadi 0 – 3,3 V.

C. Perancangan Rangkaian *Bi-directional Logic Level Shifter*

Rangkaian *Bi-Directional Logic Level Shifter* ditunjukkan dalam Gambar 3[3].

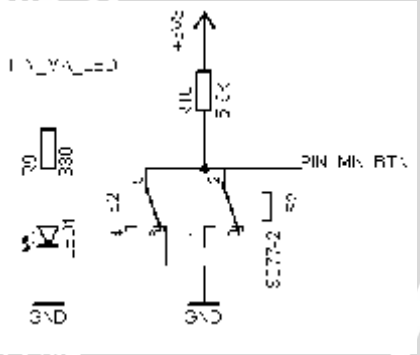


Gambar 3 Rangkaian *Bi-Directional Logic Level Shifter*

Rangkaian ini dibutuhkan agar tegangan keluaran mikrokontroler yang bernilai 3,3 V dapat mengontrol pin I/O IC multiplekser yang berteknologi CMOS dengan nilai V_{IH} 5 V. FET yang digunakan adalah 2N7000 karena memiliki tegangan *treshold* di bawah 3,3 volt dan cocok untuk aplikasi *fast switching*[4].

D. Perancangan *Input* Tombol dan LED Indikator untuk Kalibrasi

Rangkaian *input* tombol digunakan untuk memindah mode sistem dari kalibrasi menjadi mode transmisi data. Sedangkan LED digunakan sebagai indikator apakah mode yang sedang berlangsung pada sistem. LED menyala untuk mode kalibrasi dan mati untuk mode transmisi data. Rangkaian *input* tombol dan LED indikator ditunjukkan dalam Gambar 4



Gambar 4 Rangkaian *Input* Tombol dan LED Indikator

LED memiliki tegangan bias maju sebesar 2,2 V dan arus *typical* sebesar 20 mA. Dengan dirangkai seri dengan resistor 330 Ω, maka arus yang mengalir pada LED menjadi sebesar 3,3 mA. Pin I/O STM32F100RB memiliki *input leakage current* sebesar 1 uA[5]. Dengan diberi resistor *pull up* sebesar 5,6 kΩ, maka tegangan pada pin I/0 ketika tombol tidak ditekan adalah 3,2944 V. Hal ini memenuhi karena nilai V_{IH} STM32F100RB adalah 1,833 V (untuk catu daya 3,3 V).

E. Perancangan Kontrol Sistem Mikrokontroler STM32F100RB

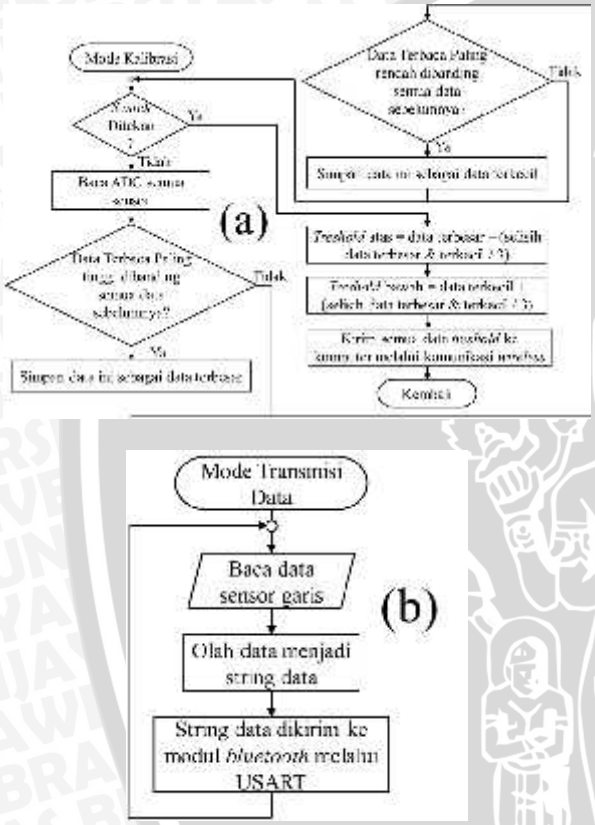
Antarmuka mikrokontroler dengan perangkat keras lainnya adalah sebagai berikut :

- Pin A3 (GPIOA3) -> pin selektor C multiplekser.
- Pin A4 (GPIOA4) -> pin selektor B multiplekser.
- Pin A5 (GPIOA5) -> pin selektor A multiplekser.

- Pin C1 (ADC1 IN11) -> pin “common” IC multiplekser untuk separuh kanan sensor.
- Pin C2 (ADC1 IN12) -> pin “common” IC multiplekser untuk separuh kiri sensor.
- Pin A9 (USART1 TX) -> pin RX modul *bluetooth* HC-05
- Pin B14 (GPIOB14) -> input tombol untuk sistem kalibrasi
- Pin C5 (GPIOC5) -> LED indikator untuk sistem kalibrasi

F. Perancangan Perangkat Lunak pada Mikrokontroler

Mikrokontroler memiliki dua mode dalam pengoperasian : mode kalibrasi dan mode transmisi data. *Flow chart* dari kedua mode ini ditunjukkan dalam Gambar 5.

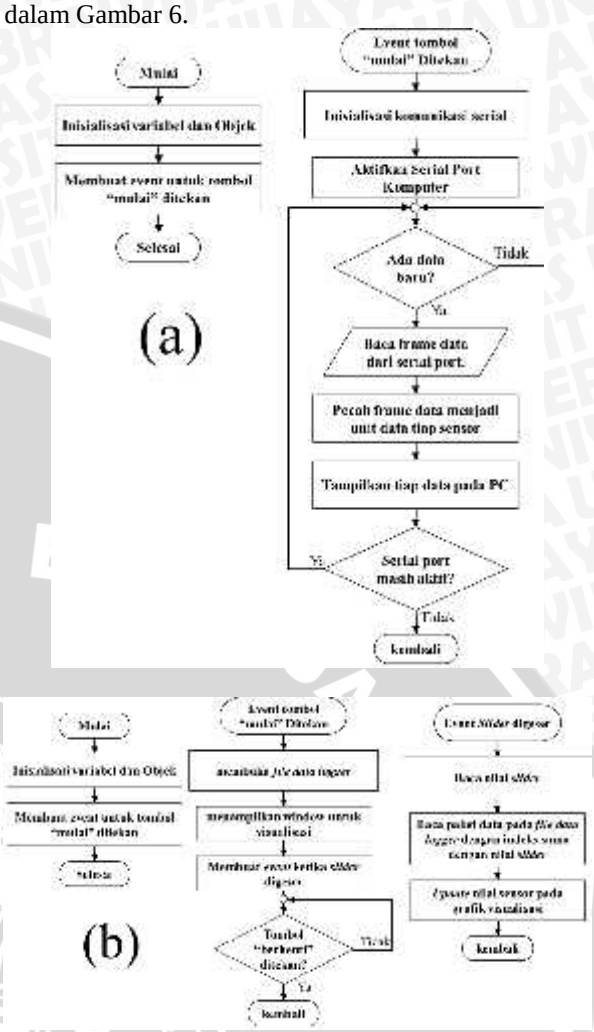


Gambar 5 *Flow Chart* mikrokontroler saat mode kalibrasi (a) dan mode transmisi data (b)

Tujuan dari adanya mode kalibrasi adalah untuk mendapatkan nilai *treshold* hitam dan putih yang dijadikan sebagai acuan dalam penentuan kondisi logika sensor. Nilai-nilai *treshold* ini kemudian dikirimkan ke komputer melalui komunikasi serial. Adapun mode transmisi data adalah mode ketika mikrokontroler mengirim hasil pembacaan sensor garis dan mengirimkannya pada komputer sehingga dapat divisualkan pada monitor komputer. Mikrokontroler secara terus-menerus membaca sensor garis, mengubah data-data tersebut menjadi suatu paket data, dan mengirimkannya ke modul *bluetooth* melalui komunikasi USART.

G. Perancangan Perangkat Lunak pada Komputer

Penelitian ini menggunakan bahasa javaSE8 sebagai implementasi program GUI komputer[6]. Program komputer memiliki dua mode pengoperasian : mode visualisasi *stream data* dan mode visualisasi *data logger*. *Flow chart* dari kedua mode ini ditunjukkan dalam Gambar 6.



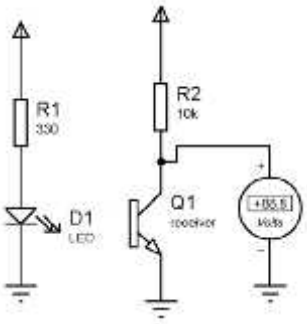
Gambar 6 *Flow Chart* Program Komputer saat mode visualisasi *stream data* (a) dan visualisasi *data logger* (b)

Perbedaan dasar dari kedua mode ini adalah sumber data yang akan divisualkan pada monitor komputer. Pada mode visualisasi *stream data*, yang ditampilkan adalah data yang dikirim oleh mikrokontroler melalui komunikasi nirkabel. Komputer secara terus-menerus menunggu data kiriman dari mikrokontroler. Jika sebuah paket data diterima, maka data tersebut akan dipecah menjadi data-data tiap unit sensor. Selanjutnya, data-data ini divisualisasikan pada monitor komputer. Data-data ini juga disimpan dalam *data logger file* jika fitur ini diaktifkan. Sedangkan pada mode visualisasi *data logger*, yang ditampilkan adalah data hasil pembacaan sensor yang tersimpan pada komputer.

III. PENGUJIAN DAN ANALISIS

A. Pengujian Rangkaian Sensor Cahaya TCRT5000

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui keluaran tegangan sensor ketika diletakkan di atas permukaan hitam dan di atas permukaan putih. Rangkaian pengujian sensor cahaya TCRT5000 ditunjukkan dalam Gambar 7.



Gambar 7 Rangkaian Pengujian Sensor Cahaya TCRT5000

Adapun hasil pengujian disajikan dalam Tabel 1.

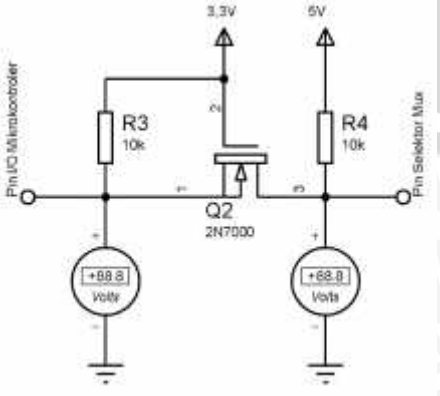
Tabel 1 Hasil Pengujian Rangkaian Sensor Cahaya TCRT5000

Rangkaian Sensor yang Diuji	Tegangan Keluaran (permukaan hitam)	Tegangan Keluaran (permukaan putih)
Sensor 0	2,87 V	156 mV
Sensor 1	2,73 V	156 mV
Sensor 2	2,64 V	163 mV
Sensor 3	2,33 V	138 mV
Sensor 4	2,75 V	155 mV
Sensor 5	2,56 V	155 mV
Sensor 6	2,88 V	183 mV
Sensor 7	2,48 V	165 mV
Sensor 8	3,07 V	177 mV
Sensor 9	2,39 V	160 mV
Sensor 10	2,90 V	164 mV
Sensor 11	2,42 V	159 mV
Rata-rata	2,67 V	160,9 mV

Berdasarkan Tabel 1, dapat disimpulkan bahwa tegangan keluaran rangkaian sensor cahaya ketika diletakkan di atas permukaan hitam berbeda nilainya dibandingkan jika diletakkan di atas permukaan putih. Rata-rata tegangan untuk permukaan hitam adalah 2,67 V dan untuk permukaan putih adalah 160,9 mV.

B. Pengujian Rangkaian *Logic Level Shifter*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui performansi rangkaian *logic level shifter* dalam menggeser nilai tegangan untuk logika HIGH. Rangkaian pengujian *logic level shifter* ditunjukkan dalam Gambar 8.



Gambar 8 Rangkaian Pengujian *Logic Level Shifter*

Adapun hasil pengujian disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Pengujian Rangkaian *Logic Level Shifter*

	LOW	HIGH
Sisi *"lower level"* (*input*)	19,8 mV	2,98 V
Sisi *"higher level"*(*output*)	14,1 mV	4,93 V

Berdasarkan Tabel 2, dapat disimpulkan bahwa rangkaian *logic level shifter* dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan. Nilai tegangan 2,98 V keluaran STM32F100RB dinaikkan menjadi 4,93 V sehingga valid sebagai data logika HIGH IC CMOS.

C. Pengujian Modul *Bluetooth* HC-05

Pengujian modul *bluetooth* bertujuan untuk mengetahui jarak jangkau maksimum di mana dua buah modul *bluetooth* HC-05 masih dapat berkomunikasi. Percobaan dilakukan sebanyak dua kali dengan kondisi pengujian yang berbeda. Pengujian dilakukan dengan mengirimkan data sebanyak 50 data kemudian setiap 10 data terdapat *delay* selama 1 detik. Hasil dari pengujian ini ditunjukkan dalam Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3 Hasil Pengujian Modul *Bluetooth* HC-05 dengan Posisi Horizontal

Jarak (m)	Data diterima	delay
1	Terkoneksi	Terkoneksi
2	Terkoneksi	Terkoneksi
3	Terkoneksi	Terkoneksi
4	Terkoneksi	Terkoneksi
5	Terkoneksi	Terkoneksi
6	Terkoneksi	Terkoneksi
7	Terkoneksi	Terkoneksi
8	Terkoneksi	Terkoneksi
9	Koneksi terputus	Koneksi terputus
10	Koneksi terputus	Koneksi terputus

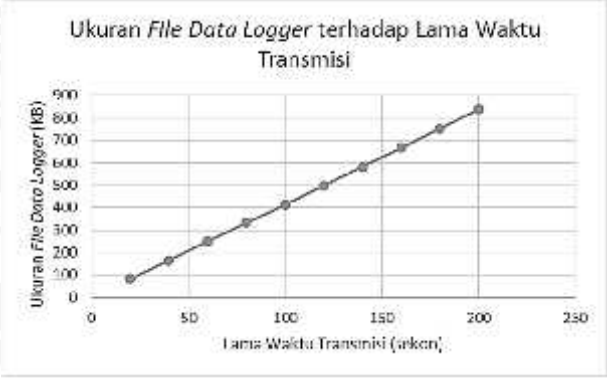
Tabel 4 Hasil Pengujian Modul *Bluetooth* HC-05 dengan Posisi Vertikal

Jarak (m)	Data diterima	delay
5	Terkoneksi	Terkoneksi
10	Terkoneksi	Terkoneksi
15	Terkoneksi	Terkoneksi
20	Terkoneksi	Terkoneksi
25	Terkoneksi	Terkoneksi
30	Terkoneksi	Terkoneksi
35	Terkoneksi	Terkoneksi
40	Koneksi terputus	Koneksi terputus

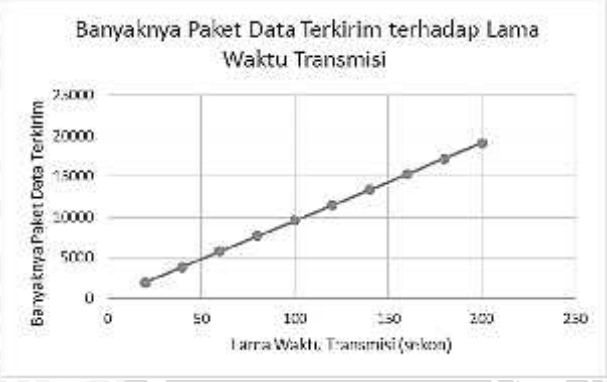
Berdasarkan data hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa dalam posisi horizontal, dua buah modul *bluetooth* HC-05 dapat saling berkomunikasi dengan jarak maksimal 8 meter. Sedangkan dalam posisi vertikal, dua buah modul *bluetooth* HC-05 dapat saling berkomunikasi dengan jarak maksimal 35 meter. Dapat disimpulkan juga bahwa dengan posisi vertikal, dua buah modul *bluetooth* HC-05 dapat memiliki jarak maksimum *pairing* lebih jauh dari pada dengan posisi horizontal.

D. Pengujian Ukuran *File DataLogger* dan Jumlah Paket Data Terkirim terhadap Lama Waktu Transmisi

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara ukuran *data logger file* yang dihasilkan dan banyaknya jumlah paket data yang dikirimkan ke komputer terhadap lama waktu transmisi. Pada pengujian ini, fitur penyimpanan *data logger file* pada program GUI komputer diaktifkan. Baudrate yang digunakan adalah 38400. Data diamati untuk setiap kelipatan waktu 20 detik. Hubungan antara ukuran *data logger file* dengan lama waktu transmisi ditunjukkan oleh grafik dalam Gambar 9. Sedangkan hubungan antara jumlah paket data terkirim dengan lama waktu transmisi ditunjukkan dalam Gambar 10.



Gambar 9 Hubungan antara Ukuran *Data Logger File* terhadap Lama Waktu Transmisi



Gambar 10 Hubungan antara Jumlah Paket Data Terkirim terdapat Lama Waktu Transmisi

Berdasarkan Gambar 9, terlihat bahwa ukuran *data logger file* memiliki hubungan yang linier dengan lama waktu transmisi. Kecepatan kenaikan ukuran *data logger file* direpresentasikan dengan kemiringan (gradien) dari kurva pada Gambar 9, yaitu 4,17 KB per detik. Sedangkan berdasarkan Gambar 10, banyaknya paket data terkirim juga memiliki hubungan yang linier dengan lama waktu transmisi. Kecepatan pengiriman paket data direpresentasikan dengan kemiringan (gradien) dari kurva pada Gambar 10, yaitu sebesar 95,98 paket data per detik.

E. Pengujian Akurasi Pembacaan Sistem Visualisasi Sensor Garis

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi pembacaan sistem visualisasi sensor yang telah dirancang. Prosedur pengujian adalah sebagai berikut : sensor garis diletakkan sebuah lintas yang memiliki garis hitam di atas permukaan putih. Sensor diletakkan sedemikian rupa sehingga hanya 2 sensor di tengah yang berada tepat di atas garis. Sedangkan sensor yang lain berada di atas permukaan putih. Kemudian, pola pembacaan pada komputer dicocokkan, apakah sesuai dengan kondisi sebenarnya di lintasan. Pengujian ini dilakukan sebanyak 20 kali. Pengujian ini juga diulang untuk kondisi lintasan dengan garis putih di atas permukaan hitam. hasil dari pengujian akurasi pembacaan sensor ditunjukkan dalam Tabel 5 untuk garis hitam dan Tabel 6 untuk garis putih.

Tabel 5 Hasil Pengujian Tingkat Akurasi Sensor untuk Kondisi Lintasan Berupa Garis Hitam

	pola acuan	P	P	P	P	P	H	H	P	P	P	P	P	status
Percobaan ke -	1	P	P	P	P	P	H	H	P	P	P	P	P	BENAR
	2	P	P	P	P	P	H	H	P	P	P	P	P	BENAR
	3	P	P	P	P	P	H	H	P	P	P	P	P	BENAR
	4	P	P	P	P	P	H	H	P	P	P	P	P	BENAR
	5	P	P	P	P	P	H	H	P	P	P	P	P	BENAR
	6	P	P	P	P	P	H	H	P	P	P	P	P	BENAR
	7	P	P	P	P	P	H	H	P	P	P	P	P	BENAR
	8	P	P	P	P	P	H	H	P	P	P	P	P	BENAR
	9	P	P	P	P	P	M	H	P	P	P	P	P	SALAH
	10	P	P	P	P	P	H	H	P	P	P	P	P	BENAR
	11	P	P	P	P	P	H	H	P	P	P	P	P	BENAR
	12	P	P	P	P	P	H	H	P	P	P	P	P	BENAR
	13	P	P	P	P	P	H	H	P	P	P	P	P	BENAR
	14	P	P	P	P	P	H	H	P	P	P	P	P	BENAR
	15	P	P	P	P	P	H	H	P	P	P	P	P	BENAR
	16	P	P	P	P	P	H	H	P	P	P	P	P	BENAR
	17	P	P	P	P	P	H	H	P	P	P	P	P	BENAR
	18	P	P	P	P	P	H	H	P	P	P	P	P	BENAR
	19	P	P	P	P	P	H	H	P	P	P	P	P	BENAR
	20	P	P	P	P	P	H	H	P	P	P	P	P	BENAR

Tabel 6 Hasil Pengujian Tingkat Akurasi Sensor untuk Kondisi Lintasan Berupa Garis Putih

	pola acuan	H	H	H	H	H	P	P	H	H	H	H	H	status
Percobaan ke -	1	H	H	H	H	H	P	P	H	H	H	H	H	BENAR
	2	H	H	H	M	H	P	P	M	H	H	H	H	SALAH
	3	H	H	H	H	H	P	P	H	H	H	H	H	BENAR
	4	H	H	H	H	H	P	P	H	H	H	H	H	BENAR
	5	H	H	H	H	H	P	P	H	H	H	H	H	BENAR
	6	H	H	H	H	H	P	P	H	H	H	H	H	BENAR
	7	H	H	H	H	H	P	P	H	H	H	H	H	BENAR
	8	H	H	H	H	H	P	P	H	H	H	H	H	BENAR
	9	H	H	H	H	H	P	P	H	H	H	H	H	BENAR
	10	H	H	H	H	H	P	P	H	H	H	H	H	BENAR
	11	H	H	H	H	M	P	P	H	H	H	H	H	SALAH
	12	H	H	H	H	H	P	P	H	H	H	H	H	BENAR
	13	H	H	H	H	H	P	P	H	H	H	H	H	BENAR
	14	H	H	H	H	H	P	P	H	H	H	H	H	BENAR
	15	H	H	H	H	H	P	P	H	H	H	H	H	BENAR
	16	H	H	H	H	H	P	P	H	H	H	H	H	BENAR
	17	H	H	H	H	H	P	P	H	H	H	H	H	BENAR
	18	H	H	H	H	H	P	P	H	H	H	H	H	BENAR
	19	H	H	H	H	H	P	P	H	H	H	H	H	BENAR
	20	H	H	H	H	H	P	P	H	H	H	H	H	BENAR

Berdasarkan Tabel 5, terlihat bahwa dari 20 kali pengambilan data, terdapat satu pola hasil pembacaan sistem yang tidak sesuai dengan pola yang seharusnya (pola acuan). Oleh karena itu, tingkat akurasi hasil pembacaan untuk garis hitam adalah sebesar 95%. Sedangkan pada Tabel 6, terlihat terdapat dua buah data yang tidak sesuai dengan pola acuan. Oleh karena itu, tingkat akurasi pembacaan untuk garis putih adalah sebesar 90%.

F. Pengujian Presisi Sensor Garis

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat presisi sensor garis yang telah dirancang. Besaran yang digunakan untuk mengukur tingkat presisi pada

pengujian ini adalah *coefficient of variation*[7]. Pengujian dilakukan sebanyak dua kali, satu untuk permukaan hitam dan satu untuk permukaan putih. Pada masing-masing percobaan, data nilai ADC diambil sebanyak 5 kali, dengan tempat yang berbeda-beda di lintasan. Data Hasil pengujian tingkat presisi pembacaan sensor garis yang telah dirancang ditunjukkan dalam Tabel 7 untuk permukaan putih dan Tabel 8 untuk permukaan hitam.

Tabel 7 Data Hasil Pengujian Presisi ketika Sensor Diletakkan di Atas Permukaan Putih

		nilai ADC pada percobaan ke -					standar deviasi	cv (%)
		1	2	3	4	5		
sensor ke -	0	41	40	40	40	41	0,54772	1,35575
	1	41	40	41	40	40	0,54772	1,35575
	2	21	21	22	21	21	0,44721	2,10950
	3	20	20	20	19	19	0,54772	2,79450
	4	40	39	40	39	39	0,54772	1,39016
	5	41	41	41	41	41	0,00000	0,00000
	6	41	41	41	40	41	0,44721	1,09611
	7	21	21	22	21	22	0,54772	2,55945
	8	40	39	41	39	39	0,89443	2,25865
	9	22	21	22	21	21	0,54772	2,55945
	10	39	39	39	39	39	0,00000	0,00000
	11	22	21	21	21	22	0,54772	2,55945
Rata-rata							0,47	1,67

Tabel 8 Data Hasil Pengujian Presisi Ketika Sensor Diletakkan di Atas Permukaan Hitam

		nilai ADC pada percobaan ke -					standar deviasi	cv(%)
		1	2	3	4	5		
sensor ke -	0	185	164	171	170	183	9,01665	5,16418
	1	165	154	148	154	171	9,34345	5,89864
	2	152	137	137	135	145	7,15542	5,06758
	3	157	125	115	143	143	16,57709	12,13550
	4	182	168	150	177	173	12,30853	7,24031
	5	162	160	167	165	164	2,70185	1,65150
	6	187	173	179	176	191	7,56307	4,17388
	7	135	138	142	145	141	3,83406	2,73471
	8	174	191	175	189	191	8,71780	4,73793
	9	145	132	134	134	131	5,63028	4,16440
	10	178	163	168	176	177	6,58027	3,81686
	11	145	129	137	130	144	7,51665	5,48660
Rata-rata							8,08	5,19

Berdasarkan Tabel 8 dan Tabel 9, terlihat bahwa tiap unit sensor memiliki tingkat presisi yang berbeda-beda satu dengan yang lain. Selain itu, tiap unit sensor memiliki tingkat presisi yang berbeda ketika diletakkan pada permukaan hitam dibandingkan dengan ketika diletakkan pada permukaan putih. Rata-rata nilai *coefficient of variation* untuk permukaan putih adalah 1,67% dan untuk permukaan hitam adalah sebesar 5,19%. Nilai sebesar ini sudah cukup baik untuk diterapkan pada sensor garis *line follower robot*.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Sensor garis yang telah dirancang memiliki karateristik sebagai berikut : menghasilkan rata-rata tegangan sebesar 2,67 V ketika mendeteksi permukaan hitam dan 160,9 mV ketika mendeteksi permukaan putih; memiliki tingkat akurasi sebesar 95% untuk pendeteksian garis hitam dan 90% untuk pendeteksian garis putih; memiliki tingkat presisi yang cukup baik dengan nilai *coefficient of variation* sebesar 1,67% untuk permukaan putih dan 5,19% untuk pemukaan hitam.
2. Rangkaian *logic level shifter* telah bekerja dengan baik. Hal ini dapat dilihat bahwa rangkaian ini dapat menaikkan level tegangan logika HIGH dari 2,98 V menjadi 4,92 V.
3. Dari sisi transmisi data, jarak maksimum komunikasi adalah 8 meter untuk posisi pemancar horizontal dan 35 meter untuk posisi vertikal. Ukuran *data logger file* dan banyak paket data terkirim memiliki hubungan yang linier dengan lama waktu transmisi, dengan gradien sebesar 4,17 KB/detik untuk ukuran *data logger file* dan 95,98 paket data/detik untuk kelajuan pengiriman paket data.

B. Saran

Dalam perancangan dan pembuatan alat ini masih terdapat kelemahan. Untuk memperbaiki kinerja alat dan pengembangan lebih lanjut disarankan:

1. Menggunakan modul komunikasi nirkabel dengan kecepatan pengiriman data yang lebih tinggi.
2. Penelitian mengenai rangkaian filter pada sensor garis sehingga *output* sensor lebih resistan terhadap *noise*.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Vishay. 2009. *Reflective Optical Sensor with Transistor Output*. Malvern:Vishay Semiconductors.

[2] Texas Instruments. 2003. *CD4051B, CD4052B, CD4053B*. Texas : Texas Instruments Inc.

[3] Schutte, Herman. 1997. *Bi-Directional Level Shifter for I2C-Bus and Other System – Application Note*. Eindhoven : Philips Semiconductor.

[4] Fairchild Semiconductor. 1995. *2N7000/2N7002.NDS7002A N-Channel Enhancement Mode Field Effect Transistor*. Sunnyvale : Fairchild Semiconductor Corp.

[5] STMicroelectronics. 2011. *RM0041 Reference Manual. STM32F100xx advanced ARM-based 32-bit MCUs*. Geneva : STMicroelectronics.

[6] Schildt, Herbert. 2007. *The Complete Reference Java Seventh Edition*. New York: McGraw-Hill Companies Inc.

[7] Chapra, Steven C dan Canale, Raymod P. 2010. *Numerical Methods for Engineers Sixth Edition*. New York : Mc-GrawHill Companies Inc.