

# Komunikasi Pada Robot Swarm Pemadam Api Menggunakan *Protokol ModBus*

Nianda Aji Pratama, Tatyantoro Andrasto

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

**Abstrak**— Kemajuan teknologi komunikasi mengakibatkan robot-robot di industri dapat berkomunikasi satu sama lain dalam mengerjakan tugas secara berurutan. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat sistem komunikasi antar robot dengan menggunakan suatu protokol komunikasi sehingga robot mampu mengenali setiap perintah yang diberikan. Sistem ini terdiri dari dua buah Robot Swarm Pemadam Api dimana setiap robot memiliki radio frekuensi untuk berkomunikasi dan beberapa sensor sebagai komponen feedback sistem otonomus robot. Pengujian secara global terbagi menjadi tiga yaitu pengujian sensor, pengujian PWM dan pengujian komunikasi. Hasil pengujian menunjukkan nilai ketelitian sensor SRF04 sebesar 0,43%, sensor fotodiode sebesar 5,07%, PWM 4,79% dan pengujian performansi sistem komunikasi menggunakan *Protokol ModBus*. Setiap data (informasi) yang diberikan pada masing-masing robot merupakan informasi maupun perintah bagi robot untuk mengerjakan suatu tugas. Komunikasi dapat dikembangkan menggunakan sistem broadcast.

**Kata kunci**— Komunikasi Robot, Robot Swarm, ModBus Protocol.

## I. PENDAHULUAN

Kebutuhan manusia dan aktivitasnya tidak dapat dipisahkan dari peran teknologi. Perkembangan teknologi merupakan hasil dari beberapa cabang ilmu, salah satunya adalah sistem komunikasi. Di Indonesia pernah diadakan Kontes Robot Cerdas Indonesia kategori Expert Swarm. Robot Swarm merupakan robot yang lebih dari satu yang dapat berkomunikasi dan bekerjasama untuk melakukan satu tugas secara bersamaan. Untuk merealisasikan komunikasi antar Robot Swarm tersebut, diperlukan rancangan komunikasi antar robot.

Protokol komunikasi dapat diibaratkan sebagai sebuah bahasa/aturan yang digunakan pada sebuah sistem sehingga sistem tersebut dapat berkomunikasi satu dengan yang lainnya. *ModBus (ModIcon Bus)* adalah teknologi lama yang dikembangkan oleh *ModIcon* pada 1979. *ModBus* merupakan salah satu protokol komunikasi serial yang memungkinkan beberapa sistem berbeda saling berkomunikasi satu sama lain.

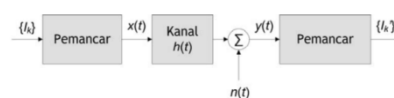
### Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat dan menguji komunikasi serial menggunakan *Protokol ModBus* dalam bentuk teks (*ModBus ASCII*).

## II. LANDASAN TEORI

### A. Komunikasi

Sistem komunikasi radio terus berkembang dengan munculnya kemampuan manusia melakukan digitalisasi sinyal dan sistem. Sistem komunikasi digital tersusun atas tiga komponen utama, yaitu perangkat pemancar, kanal komunikasi, dan perangkat penerima yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistem komunikasi digital (Gamantyo Hendranto,2008)

Misalkan terdapat deretan informasi digital  $\{Ik\}$  yang bisa berasal dari data digital atau sinyal suara atau video yang telah dijadikan digital. Pemancar berfungsi mengubah deretan informasi digital  $\{Ik\}$  menjadi bentuk sinyal  $x(t)$  yang dapat dikirimkan melalui kanal, sedangkan penerima mengupayakan diperolehnya estimasi informasi asli  $\{Ik\}$  berdasarkan sinyal  $y(t)$  yang diterimanya dari kanal. Selama perambatan melalui kanal, sinyal yang membawa informasi mengalami gangguan berupa *noise*, *fading*, dan pelebaran pulsa. Jika sinyal yang dihasilkan pemancar adalah  $x(t)$  sebagai fungsi waktu  $t$ , kanal memiliki karakteristik respon *impuls*  $h(t)$  dan memberikan *noise* sebesar  $n(t)$ , maka sinyal yang sampai pada penerima ditunjukkan pada persamaan 1.

$$y(t) = h(t) * x(t) + n(t) \quad (1)$$

Dengan  $*$  menyatakan operasi konvolusi. Sedangkan  $h(t)$  dapat dituliskan seperti pada persamaan 2.

$$h(t) = \sum_{n=0}^{N-1} r_n e^{j\theta_n} \delta(t - t_n) \quad (2)$$

### 1. Komunikasi Serial

Kebanyakan keluarga dari AVR memiliki fasilitas *Universal Synchronous and Asynchronous Serial Receiver and Transmitter*. Perangkat keras USART ini memungkinkan AVR untuk mengirim dan menerima data serial ke dan dari perangkat lain seperti komputer atau AVR lain (Dean Camera, 2013).

Komunikasi serial dibagi menjadi 2 jenis, yaitu komunikasi sinkron dan komunikasi asinkron. Komunikasi data secara sinkron merupakan bentuk komunikasi yang memerlukan sinyal *clock* untuk sinkronisasi, dimana sinyal *clock* akan tersulut pada setiap *bit* pengiriman data. Sedangkan komunikasi asinkron tidak memerlukan sinyal *clock* sebagai sinkronisasi. Pengiriman data pada komunikasi serial dilakukan mulai *bit* yang paling rendah (LSB) hingga *bit* yang paling tinggi (MSB).

Untuk standar kristal dan frekuensi resonansi, *baud rate* yang paling sering digunakan untuk operasi asinkron dapat digeneralisasikan menggunakan seting pada *codewizardAVR*. *Rating error* yang tinggi masih bisa diterima, tetapi *receiver* akan punya resistansi *noise* yang sedikit pada saat *rating error* yang tinggi. Untuk menghitung nilai *error* dapat digunakan dengan memakai persamaan 3.

$$\text{Error}[\%] = \left( \frac{\text{BaudRate}_{\text{Closest Match}}}{\text{BaudRate}} - 1 \right) \cdot 100\% \quad (3)$$

## B. Protokol ModBus

*ModBus* berasal dari kata *ModIcon* dan *Bus*, adalah protokol komunikasi yang dikembangkan oleh *ModIcon* pada tahun 1979. komunikasi ini dibuat dalam rangka komunikasi berjaringan antara *Client* dan *Server*. *ModIcon* membuka teknologinya secara cuma-cuma dan teknologi ini mendapat sambutan yang baik sebagai protokol komunikasi pada zaman itu. Banyak *vendor* menggunakan *ModBus* untuk peralatan mereka sehingga memudahkan integrasi dari satu sistem dengan sistem lainnya. Dengan demikian, *ModBus* menjadi komunikasi standard pada dunia industri untuk menghubungkan antar *smart controller*. *Protokol ModBus* digunakan untuk membangun komunikasi antara perangkat cerdas '*master-slave*', dan memiliki dua jenis *mode* transmisi serial, *ASCII* dan *RTU*. (Robert Wilson,2007).

*ModBus* memiliki dua *mode* pengiriman data yaitu:

### 1. Mode ASCII

Jika menggunakan komunikasi *mode ASCII* (*AmeriCan Standard Code for Information Interchange*), tiap 8 *byte* pesan dikirim sebagai 2 karakter *ASCII*, keuntungan menggunakan *mode* ini adalah meningkatkan interval waktu komunikasi hingga diatas satu detik tanpa menyebabkan *error*.

*Frame ASCII* dimulai dengan karakter colon ( : atau *ASCII 3A Hex*) dan diakhiri dengan sepasang *CRLF* (*ASCII 0D Hex* dan *0A Hex*)(Robert Wilson,2007).

Karakter yang diijinkan untuk dikirim adalah semua bentuk kode *ASCII* 0-9 dan A-F. Bentuk umum *frame* komunikasi *ModBus mode ASCII* diperlihatkan Tabel I.

TABEL I. FRAME ASCII

Start	Address	Function	LRC check	End
1	2	2	N	2
Char(:)	Chars	Chars	Chars	Chars(CRLF)

Sumber: MODICON, Inc., Industrial Automation Systems One High Street.

### 2. Mode RTU

Jika menggunakan komunikasi *mode RTU* (*Remote Terminal Unit*), tiap 8 *byte* pesan yang dikirim berisi 2 karakter 4 *bit* hexadecimal, keuntungan menggunakan *mode* ini adalah dengan *baud rate* yang sama, menghasilkan kepadatan karakter data yang lebih banyak. Daripada *mode ASCII* Setiap pesan dikirimkan dengan aliran yang kontinyu. Yang membedakan dengan *mode ASCII* adalah *frame* pada *mode RTU* awal dan akhir pesan berdasarkan waktu tunda antara 1,5 karakter sampai dengan 3,5 karakter dari *baud rate* komunikasi yang sudah ditentukan sebelumnya. Data yang dikirim haruslah bersifat kontinyu, jika data yang dikirim terdapat waktu tunda selama lebih 1,5 karakter padahal data tersebut belum lengkap, dengan demikian data tersebut termasuk *error*, karena data setelah waktu tunda 1,5 karakter dianggap data baru. Demikian pula bila data awal dimulai kurang dari 3,5 karakter waktu tunda maka data tersebut dianggap masih data sebelumnya karena cek *error* akan aktif. *Frame RTU Protokol ModBus* dapat dilihat pada Tabel II.

TABEL II. FRAME RTU

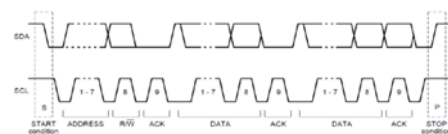
Start	Address	Function	LRC check	End
T1-T2-T3-T4	8 bits	8 bits	16 bits	T1-T2-T3-T4

Sumber: MODICON, Inc., Industrial Automation Systems One High Street.

### 3. Komunikasi I2C(Inter-Integrated-Circuit)

Biasanya disebut sebagai *I2C*, *Bus I2C* atau *IIC Bus* pada awalnya dikembangkan sebagai *Bus* kontrol untuk menghubungkan *mikrokontroler* dan *peripheral IC*.(Raafat. S. Habeeb, 2011).

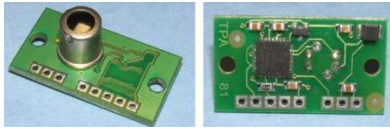
*Inter-Integrated-Circuit* atau sering disebut sebagai komunikasi *I2C* adalah komunikasi yang dikembangkan oleh *Philips Semiconductors*, yang hanya menggunakan dua jalur komunikasi (2-wire) yaitu jalur data yang digunakan untuk mengirim dan menerima data (*bi-directional*) dan jalur *clock* yang digunakan untuk mengirim sinyal sinkronisasi. Protokol *I2C* untuk pengiriman satu *byte* data dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Protokol komunikasi I2C (Kugestadt, 2011)

### 4. Sensor Thermal Array TPA81

TPA81 dapat mendeteksi sinar infra merah dengan panjang gelombang 2um-22um (1mikro meter = sepersepuluh meter). Panjang gelombang ini dihasilkan oleh benda-benda yang panas. Oleh karena yang dideteksi adalah radiasi panasnya saja, maka TPA81 dapat mengukur suhu tanpa harus menyentuh sumber panas. Sebagai gambaran, TPA81 dapat mendeteksi suhu api lilin dalam jarak 2 meter tanpa terpengaruh cahaya ruangan (Hendawan Soebhakti, 2009). Ditunjukkan pada Gambar 3.

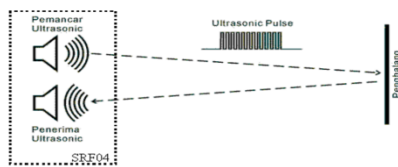


Gambar 3. TPA81 Thermopile Array

Jalur komunikasi data TPA81 menggunakan teknologi *I2C (Inter Integrated Circuit)* yang menggunakan dua kabel saja yaitu SDA untuk jalur data dan SCK untuk jalur *clock*. Jika dihubungkan dengan *mikrokontroler*, TPA81 dapat dipasang paralel sebanyak 8 buah tanpa menambah jalur komunikasi. Anda hanya perlu menambahkan resistor *pull-up 1K8* pada jalur SDA dan SCK. Selain dapat mengeluarkan data suhu, TPA81 dapat juga mengendalikan sebuah motor servo.

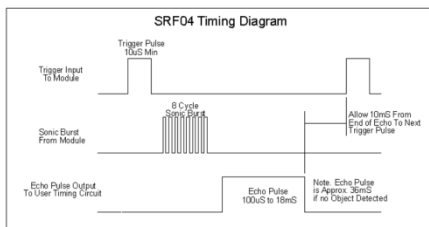
#### 5. Sensor Ultrasonik SRF04

SRF04 adalah merupakan modul yang berisi transmitter dan *receiver* ultrasonik, modul dapat digunakan untuk mengukur jarak. Prinsip kerja dari SRF04 ini adalah mengukur jarak dengan cara menghitung selisih waktu antara saat pemancaran sinyal dan saat penerimaan sinyal pantul. Seperti diketahui, kecepatan rambat suara di udara adalah 34399.22 cm/detik, berarti untuk merambat sejauh 1 cm suara membutuhkan waktu 29 mikro detik. Misalkan waktu antara pengiriman dan penerimaan sinyal ultrasonik adalah 5800 mikro detik, maka jarak antara sensor dan benda ( penghalang ) adalah 100 cm. (  $2 \times 100 \text{ cm} \times 29 \text{ mikrodetik/cm} = 5800 \text{ mikro detik}$  ). Prinsip kerja sensor SRF04 ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Prinsip kerja sensor SRF04

Untuk mengaktifkan SRF04, *mikrokontroler* harus mengirimkan pulsa positif minimal 10us melalui pin trigger, maka SRF04 akan mengeluarkan sinyal ultrasonik sebesar 8 cycle dan selanjutnya SRF04 akan memberikan pulsa 100us-18ms pada outputnya tergantung pada informasi jarak pantulan objek yang diterima dan ditunjukkan pada Gambar5.



Gambar 5. Timing Diagram SRF04 ([www.robot-electronics.co.uk](http://www.robot-electronics.co.uk))

Sensor SRF 04 sudah tidak dapat mendeteksi obyek dimana posisi obyek berada pada sudut 60° ke atas dari sensor SRF04 (Riana Defi Mahadji Putri,2009).

#### 6. Minimum Sistem

Sistem minimum Atmega32 merupakan sistem yang terdiri dari komponen utama yaitu Atmega32 dan X-tal sebagai sumber *Clock*. Atmega32 merupakan salah satu produk dari ATMEL yang memiliki arsitektur Harvard yaitu memisahkan memori untuk kode program dan memori untuk data sehingga dapat memaksimalkan kinerja mikrokontrol tersebut. Instruksi-instruksi dalam memori program dieksekusi dalam satu alur tunggal (setiap satu siklus *clock*), dimana pada saat instruksi dikerjakan instruksi berikutnya sudah diambil (*pre-fetched*) dari memori program (Agus Bejo, 2008).

#### 7. Motor DC

Motor DC adalah jenis motor yang memanfaatkan tegangan searah sebagai sumber tenaganya, semakin besar perbedaan tegangan yang diberikan maka kecepatan motor akan bertambah sampai batas kecepatan maksimum motor. Perbedaan tegangan yang diberikan akan mengakibatkan motor berputar dengan arah tertentu, dan jika polaritas tegangan tersebut dibalik maka putaran motor akan berlawanan dengan arah sebelumnya, prinsip ini sesuai dengan Hukum gaya *Lorentz* yaitu arus mengalir pada penghantar dalam medan magnet akan menimbulkan gaya yang memiliki arah vektor bergantung dari arah arus yang mengalir. Keunggulan utama motor DC adalah kecepatan motor tidak berpengaruh pada pasokan daya.

#### 8. Pulse Width Modulation (PWM)

*Pulse Width Modulation* atau sering disebut dengan PWM adalah sebuah cara pemanfaatan sinyal digital yang terputus-putus (gelombang *square*) untuk mendapatkan efek sinyal analog, parameter yang terkait dengan lebar sempitnya sinyal PWM adalah *duty cycle* yaitu perbandingan antara sinyal *high* dengan lebar penuh dalam satu periode sinyal.

Besarnya sinyal analog yang dihasilkan dengan memanfaatkan sinyal PWM dirumuskan menggunakan persamaan 4.

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + a_1 \cos(t) + a_2 \cos(2t) + a_3 \cos(3t) + \dots + a_n \cos(nt) + b_1 \sin(t) + b_2 \sin(2t) + b_3 \sin(3t) + \dots + b_n \sin(nt) \quad (4)$$

Dengan fungsi  $f(t)$  yang berperiodik pada interval  $2\pi$ , maka koefisien  $a_0$ ,  $a_n$  dan  $b_n$  pada Persamaan diatas, dapat diturunkan sebagaimana pada Pesamaan 6.

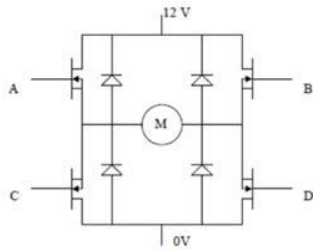
$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) dt \quad (5)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \cos nt dt \quad b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \sin nt dt \quad (6)$$

Koefisien pada persamaan 5 disebut sebagai komponen DC sebagai komponen output dari tegangan analog yang dihasilkan, sedangkan koefisien pada persamaan 6 disebut sebagai komponen AC yang menunjukkan bentuk sebuah gelombang yang berosilasi (Alter, 1998).

#### 9. H-Bridge Mosfet

*H-bridge* adalah sebuah perangkat keras berupa rangkaian yang berfungsi untuk menggerakkan motor. Rangkaian ini diberi nama *H-bridge* karena bentuk rangkaiannya yang menyerupai huruf H seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Konfigurasi H-Bridge MOSFET

### 10. Liquid Cristal Display (LCD)

Liquid cristal display adalah media tampilan dengan memanfaatkan kristal cair, modul LCD yang digunakan pada penelitian ini berupa LCD M1632, modul ini dilengkapi dengan mikrokontroler HD44780 sebagai pengendali LCD yang memiliki CGROM (Character Generator Read Only Memory) yang digunakan untuk mengembangkan pola sebuah karakter dimana pola tersebut telah ditentukan secara permanen dari HD44780, CGRAM (Character generator Random Access Memory) yang digunakan untuk mengembangkan pola sebuah karakter dan DDRAM (Display Data Random Access Memory) sebagai memori tempat kedudukan karakter yang ditampilkan.

### 11. Sensor Fotodiode

Fotodiode dibuat dari semikonduktor dengan bahan yang populer adalah silicium (Si) atau galium arsenida (GaAs), dan yang lain meliputi InSb, InAs, PbSe. Material ini menyerap cahaya dengan karakteristik panjang gelombang mencakup: 2500 Å - 11000 Å untuk silicium, 8000 Å - 20,000 Å untuk GaAs. Ketika sebuah photon (satu satuan energi dalam cahaya) dari sumber cahaya diserap, hal tersebut membangkitkan suatu elektron dan menghasilkan sepasang pembawa muatan tunggal, sebuah elektron dan sebuah hole, di mana suatu hole adalah bagian dari kisi-kisi semikonduktor yang kehilangan elektron. Arah Arus yang melalui sebuah semikonduktor adalah kebalikan dengan gerak muatan pembawa. cara tersebut didalam sebuah fotodiode digunakan untuk mengumpulkan photon - menyebabkan pembawa muatan (seperti arus atau tegangan) mengalir/terbentuk di bagian-bagian elektroda.

## III. METODE PENELITIAN

### A. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang dan pengujian di Fornext Robotics Semarang.

### B. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Perangkat Keras (Hardware):
  - a. Sensor Ultrasonik SRF04
  - b. Sensor Thermal Array TPA81
  - c. Sensor warna Photo Diode
  - d. Atmega32
  - e. Atmega8
  - f. H-Bridge Mosfet
  - g. YS-1020UB Radio Frequency Data Transceiver

h. LCD (Liquid Cristal Display) 2x16 karakter

i. Serial to USB BasIC FT-232

j. Antena 433 MHz

k. Kabel converter USB Type-A to Type-B

l. Downloader USBASP

### 2. Perangkat Lunak (Software)

a. Software Codevision AVR

b. Delphi 7

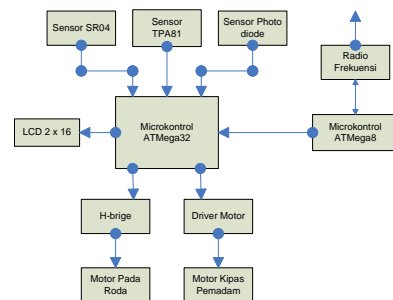
c. AvrDude

d. ExpressPCB

e. Eagle

### C. Desain Perangkat Keras Alat Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini, secara umum didesain seperti diagram blok pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram blok desain perangkat keras Robot Swarm

### D. Desain Sistem Komunikasi Robot Swarm

Pada dasarnya prinsip kerja Protokol ModBus adalah untuk komunikasi berjaringan antara Client dan Server. Protokol komunikasi dapat diibaratkan sebagai sebuah bahasa/aturan yang digunakan pada sebuah sistem sehingga sistem tersebut dapat berkomunikasi satu dengan yang lainnya. Dengan adanya protokol komunikasi, master bisa berkomunikasi dengan salah satu Client(slave) dan atau dapat berkomunikasi dengan seluruh Client, seperti seorang dosen yang bisa berkomunikasi dengan seluruh mahasiswanya dalam kelas, ataupun dapat memberikan pertanyaan satu persatu mahasiswa yang sedang diajar.

### E. Pengambilan Data

Pengambilan data penelitian terbagi menjadi tiga bagian yaitu:

1. Data sensor jarak
2. Data sensor suhu
3. Data sensor warna
4. Data Pulse width modulation
5. Data performansi sistem

### F. Metode penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode Penelitian dan Pengembangan (Research and Development/R&D). Metode penelitian Research and Development yang disingkat menjadi R&D adalah metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu, dan menguji keefektifan produk tersebut. Produk tersebut tidak selalu berbentuk benda atau perangkat keras (hardware), seperti buku, alat tulis, dan alat pembelajaran lainnya. Akan tetapi, dapat pula dalam bentuk perangkat lunak (software). (Sugiyono, 2012)

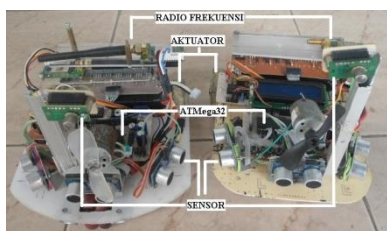
Dalam pelaksanaan R&D, ada beberapa metode yang digunakan yaitu metode *deskriptif*, *evaluatif* dan *eksperimental*. Metode penelitian *deskriptif* digunakan dalam penelitian awal untuk menghimpun data tentang kondisi yang ada. Metode *evaluatif* digunakan untuk mengevaluasi proses uji coba pengembangan suatu produk. Dan metode *eksperimen* digunakan untuk menguji keampuhan dari produk yang dihasilkan. Dikarenakan penelitian R&D memerlukan waktu yang lama, penulis menggunakan metode penelitian *deskriptif* untuk menerapkan protokol komunikasi *ModBus* pada Robot Swarm Pemadam Api.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Hasil Penelitian

##### 1. Perangkat Robot Swarm

Perangkat Robot Swarm Pemadam Api Menggunakan Protokol *ModBus* menghasilkan dua Robot Swarm (*Hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Desain perangkat keras Robot Swarm.

Perangkat lunak (*software*) yang digunakan pada Robot Swarm Pemadam Api digunakan untuk memonitoring dan pengujian telekomunikasi pada Robot Swarm ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Desain Perangkat Lunak.

##### 2. Pengujian Sensor Ultrasonik

Dalam memperoleh performansi sistem, diperlukan nilai ukur sensor Ultrasonik SRF04 dan PING yang akurat. Sensor Ultrasonik merupakan sensor utama yang digunakan pada Robot Swarm Pemadam Api, karena sensor jarak ini merupakan indra utama robot dalam berjalan menyusuri dinding (*wall follower*). Untuk memperoleh ketelitian dari sensor ultrasonik, maka perlu adanya pengkalibrasian antara pembacaan sensor dengan mistar satuan panjang dalam centi meter. Data kalibrasi tersebut dapat dilihat pada Tabel III dan Tabel IV.

TABEL III. KALIBRASI SENSOR SRF04

Nilai Mistar (cm)	Nilai Sensor (cycle)	Nilai Mistar (cm)	Nilai Sensor (cycle)
0	1,68	114	114,23
3	3,16	117	117,22
6	6,1	120	120,41
78	78,4	123	123,38
81	81,28	126	126,54
84	84,19	141	141,73
87	87,07	144	144,58
99	99,27	147	147,52
102	102,17	150	150,88

TABEL IV. KALIBRASI SENSOR PING

Nilai Mistar (cm)	Nilai Sensor (cycle)	Nilai Mistar (cm)	Nilai Sensor (cycle)
0	2,96	66	65,98
3	3,51	69	69,04
12	12,59	72	72,33
15	15,68	102	102,06
18	18,38	105	105,04
30	30,71	108	108,16
33	33,61	147	147,02
42	42,66	150	150,19

##### 3. Pengujian Sensor Fotodioda

Dalam menentukan posisi Home Robot dan posisi titik api, digunakan lingkaran berwarna putih yang terbuat dari karpet setebal 2mm. Untuk itu robot harus bisa mengenali posisi Home dan posisi titik api karena arena dari robot Swarm berwarna hitam. Selain itu robot diwajibkan memadamkan api pada titik ini. Untuk itu diperlukan sensor warna yang terdiri dari sensor fotodioda dan led sebagai pemancar cahaya yang ditunjukkan pada Tabel V.

TABEL V. PENGUJIAN FOTODIODA.

Posisi Sensor	Data	
	ADC (8bit)	Pengukuran (volt)
putih	0x0D	0,28
	0x28	0,83
Hitam	0xD5	4,19
	0xDF	4,37

#### 4. Pengujian sensor TPA81

Sensor ini berfungsi mendeteksi suhu yang ditimbulkan dari panas suatu benda, dalam hal ini suhu dari api lilin. Sensor TPA81 memiliki 8 pixel sensor yang dapat mendeteksi suhu dari suatu benda hingga jarak 200 cm. Jarak tersebut cukup untuk mendeteksi suhu dari api lilin, karena arena Robot Swarm memiliki panjang 150 cm dan lebar 100 cm. Berikut data yang diambil dari sensor TPA81 ditunjukkan pada Tabel VI.

Jarak Lilin (cm)	Data Sensor Perpixel (Desimal)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
3	62	125	154	153	150	149	62	58
5	47	93	156	155	151	96	51	44
7	33	43	103	156	154	62	42	39
9	32	41	73	157	145	45	37	33
11	27	30	45	157	153	52	34	31
15	24	26	30	140	103	31	29	28
18	24	25	29	135	100	32	28	27
21	23	23	38	158	52	29	26	25
25	23	23	30	129	30	25	25	26
29	22	23	30	117	45	27	25	25
33	22	21	22	104	29	31	26	25
40	21	21	22	115	28	29	25	25
50	21	20	21	82	23	37	26	24
60	21	20	22	83	23	28	25	24

#### 5. Pengujian tegangan output PWM

Tegangan output PWM digunakan untuk mengendalikan tegangan pada motor DC. Motor DC berperan sebagai *aktuator* (penggerak) pada Robot Swarm Pemadam Api. Pengujian tegangan output PWM diperlukan untuk mengetahui hasil tegangan dari alat yang telah dibuat.

#### 6. Pengujian komunikasi Robot Swarm

Komunikasi pada Robot Swarm menggunakan *Rodio Frekuensi* dan *Protokol ModBus* diuji di laboratorium Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang. Modul Radio Frekuensi dengan tipe KYL-1020 dengan frekuensi 433MHz. Jarak transmisi maksimal sejauh 500 meter pada open area yang diuji coba dalam Muatan Roket 2008. (www.lapan.go.id). Sedangkan pengujian dari peneliti di lingkungan kampus Universitas Negeri Semarang jarak transmisi data normal sejauh ± 270 meter. Sedangkan jarak antara 270 meter sampai 400 meter transmisi data mulai putus-putus dan lebih dari itu transmisi data tidak bisa diterima.

TABEL VII. PENGUJIAN PWM

Variable Pemotong (VP)	Duty Cycle 10bit(%)	Tegangan Teori (Volt)	Tegangan Motor (Volt)
0x00	0	0	0
0x32	4,88	0,59	0,717
0x64	9,76	1,18	1,273
0x96	14,65	1,77	1,826
0xC8	19,53	2,37	2,379
0xFA	24,41	2,96	2,937
0x12C	29,29	3,55	3,494
0x15E	34,18	4,14	4,03
0x190	39,06	4,73	4,58

#### B. Pembahasan

##### 1. Pembahasan Sensor Ultrasonik

Sebagai sensor utama dari Robot Swarm ketelitian dari sensor ultrasonik sangat diperlukan, untuk itu perlu adanya kalibrasi sensor ultrasonik. Berikut hasil kalibrasi sensor tersebut:

Dari sensor SRF04 didapatkan nilai *error* pengukuran sebesar:

*Error* pengukuran sensor

$$Error (%) = \frac{\sum \frac{|Y_i - X_i|}{X_i} \times 100\%}{n}$$

$$Error (%) = \frac{22,08}{51}$$

$$Error (%) = 0,432688603 \%$$

Keterangan:

$X_i$  = nilai mistar

$Y_i$  = nilai sensor SRF04

$N$  = banyaknya pengukuran

Dengan Ketelitian sensor (100-0,32)% = 99,68%

Sedangkan nilai *error* yang didapatkan dari sensor ultrasonik PING adalah:

*Error* pengukuran sensor

$$Error (%) = \frac{\sum \frac{|Y_i - X_i|}{X_i} \times 100\%}{n}$$

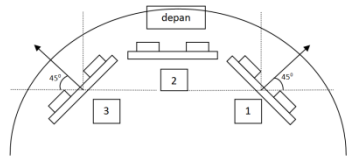
$$Error (%) = \frac{16,4}{51}$$

$$Error (%) = 1,340777411 \%$$

Ketelitian sensor ultrasonik PING (100-1,34)% = 98,66%

Selain ketelitian sensor penempatan dari sensor serta sudut pantul dari sensor perlu dirancang dengan baik. Pada tiap-tiap Robot Swarm terdapat 3 sensor ultrasonik yang memiliki peran yang berbeda. Sensor bagian kanan memiliki tugas sebagai sensor *wall follower* pada sisi kanan robot, pada sisi kiri untuk *wall follower* pada sisi kiri robot dan bagian depan

berfungsi mendeteksi penghalang yang berada didepan robot. Seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Penempatan Sensor Ultrasonik

## 2. Pembahasan Sensor Fotodioda

Sensor fotodioda merupakan sensor yang dapat mendeteksi gelombang cahaya yang dipancarkan oleh Infrared. Data yang dihasilkan merupakan sinyal analog. Untuk itu perlu adanya *Digital to Analog Converter* (ADC) untuk merubah sinyal analog tersebut menjadi sinyal digital yang bisa dikenali mikrokontrol ATmega32. Berdasarkan Tabel 5 Untuk menguji nilai ADC tersebut kita dapat melakukan perhitungan sebagai berikut:

Putih (Home)	Hitam(Lorong)
$x = \left(\frac{y}{k}\right) ref$	$x = \left(\frac{y}{k}\right) ref$
$x = \left(\frac{0x200}{0x100}\right) 4,98$	$x = \left(\frac{0x205}{0x100}\right) 4,98$
$x = \left(\frac{13}{256}\right) 4,98$	$x = \left(\frac{213}{256}\right) 4,98$
$x = 0,25 Volt$	$x = 4,14 Volt$

Dimana:

x = Nilai perhitungan

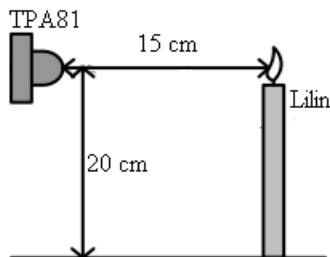
y = Nilai Pengukuran

ref = Nilai referensi (4,98 volt)

Dari pengukuran dan perhitungan tersebut terdapat error pengukuran sebesar 5,07 %.

## 3. Pembahasan sensor TPA81

Data yang diambil dari penelitian sensor TPA81 pada Tabel 6 membuktikan bahwa sensor ini mampu mendeteksi titik api lilin dari jarak 60 cm. Jarak tersebut didasarkan pada panjang maksimal ruang pada arena Robot Swarm. Selain itu robot juga diwajibkan untuk memadamkan api pada titik putih yang berbentuk setengah lingkaran dengan jari-jari 15 cm. Sedangkan tinggi maksimal dari lilin adalah 20 cm, untuk itu minimal tinggi sensor sama dengan maksimal tinggi lilin. Seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Jarak sensor dengan titik api.

## 4. Pembahasan tegangan output PWM

PWM (*Pulse Width Modulation*) merupakan salah satu metode untuk mendapatkan nilai tegangan analog dari tegangan digital. Konversi tegangan seperti ini sering disebut

sebagai *Digital to Analog Converter* atau DAC. Tegangan analog yang dihasilkan berbanding lurus dengan lebar sinyal PWM dalam satu periode. Perbandingan ini sering disebut *duty cycle* PWM. Untuk membangkitkan pulsa PWM tersebut, digunakan fasilitas *Timer/counter* internal pada mikrokontrol ATmega32.

Nilai *error* yang didapatkan dari penelitian tersebut sebesar:

*Error* pengukuran

$$Error (\%) = \frac{\sum \frac{|TT - TM|}{TT} \times 100\%}{n}$$

$$Error (\%) = \frac{100,6607^n}{21}$$

$$Error (\%) = 4,79\%$$

*Error* tersebut merupakan perbandingan nilai perhitungan dengan pengukuran menggunakan alat ukur yang dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro UNNES.

## 5. Pembahasan Komunikasi Robot Swarm

Komunikasi pada Robot Swarm menggunakan media *radio frekuensi*. Dengan radio frekuensi KYL-1020U dengan jenis modulasi adalah Modulasi GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*) dan frekuensi pembawa sebesar 433 MHz dengan *Baud rate* diudara sebesar 9600 bps (*bit per sekon*). Bentuk komunikasi yang digunakan adalah komunikasi Dua Arah (*Duplex*) dan jenis komunikasi adalah komunikasi serial. Komunikasi ini dipilih karena robot harus bisa saling berkomunikasi untuk memberikan informasi antara satu dengan yang lainnya.

Komunikasi pada robot dengan jenis komunikasi serial memiliki nilai *error*. *Error* tersebut terdiri dari 2 jenis *error*, yaitu *error sistem* dan *error media komunikasi*. *Error* sistem merupakan *error* dari peralatan Robot Swarm, seperti nilai *error* dari komunikasi serial mikrokontrol ATmega32 dengan frekuensi kristal sebesar 16 MHz dengan nilai *error* 0,2%.

Untuk mengatasi data *error* tersebut digunakan protokol komunikasi *ModBus*. Protokol ini memiliki *frame* data yang bertujuan melindungi data dengan melakukan cek. Robot swarm menggunakan protokol *ModBus mode ASCII*. *Mode ASCII* memiliki keunggulan yaitu *interval* waktu komunikasi hingga diatas satu detik tanpa menyebabkan *error*. *Frame Protokol ModBus* pada robot Swarm seperti pada Tabel 1. Dengan ketentuan:

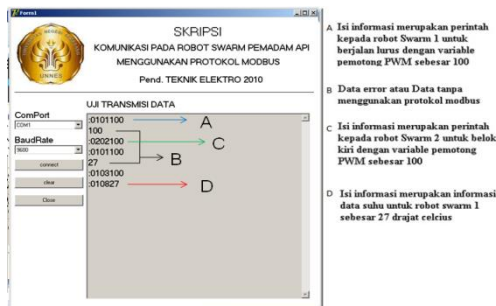
1. Start: Start data diawali dengan karakter 'colon' (:) dengan *code ASCII* 3A.
2. Addr: Alamat robot yang dituju, dengan alamat robot 1 '30 31' dan robot 2 '30 32'.
3. Function : Merupakan kode fungsi dari Robot Swarm, selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.10.
4. Data : Sekumpulan data informasi dari Robot Swarm, pada Tabel 4.9 data berupa nilai PWM dari Robot Swarm sebesar 0x64 dari variable pemotong.
5. LCR : Error Check, merupakan cek data dari kesalahan Komunikasi, pada Robot Swarm LCR belum difungsikan karena pengaturan secara hardware dan program dipilih dengan *error* 0%.
6. End : Dan diakhiri dengan sepasang CRLF, dengan kode *ASCII* 0x0D dan 0x0A, yaitu untuk berganti baris layaknya perintah enter pada keyboard.

Function dari Protokol ModBus komunikasi Robot Swarm dapat dilihat selengkapnya pada Tabel VIII.

TABEL VIII. FUNGSI-FUNGSI PROTOKOL MODBUS ROBOT SWARM

Code	Function	Bentuk Data
01 (0x01)	Belok kanan	PWM
02 (0x02)	Belok kiri	PWM
03 (0x03)	Jalan lurus	PWM
04 (0x04)	Jalan mundur	PWM
05 (0x05)	Deteksi api	-
06 (0x06)	Deteksi Home	-
07 (0x07)	start Robot	-
08 (0x08)	Data suhu	8 bit ( $^{\circ}$ C)

Jadi selain sebagai pelindung data dari *error* komunikasi Protokol ModBus juga memiliki fungsi-fungsi khusus seperti perintah jalan berbelok dan sebagainya. Karena apabila *frame* data yang diterima robot tidak sesuai berarti data tersebut rusak (terdapat *error*) dan robot tidak mengenali instruksi-instruksi yang diterima Robot Swarm. Seperti pengujian data menggunakan *software* dari delphi7 ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12 Pengujian komunikasi dengan Protokol ModBus.

## V. PENUTUP

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

1. Telah dibuat 2 buah Robot Swarm Pemadam Api dengan menggunakan Protokol ModBus mode ascii, sehingga data hasil transmisi bisa dikenali oleh robot dan apabila *frame* data tersebut rusak(error) maka robot akan mengabaikan data tersebut. Dari pengujian sensor SRF04 sebagai sensor utama Robot Swarm didapatkan nilai ketelitian sebesar 99,68% dan error sebesar 0,43%, error pengukuran sensor fotodiode sebesar 507%, jarak maksimal sensor TPA81 dari lilin sejauh 60 cm dan pengujian tegangan output PWM didapatkan nilai error pengukuran sebesar 4,79%.
2. Protokol ModBus dapat diterapkan sebagai protokol komunikasi pada peralatan elektronik yang memiliki fasilitas serial komunikasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alter, D.M. 1998. Using PWM Output as a Digital-to-Analog Converter on a TMS320C240 DSP. USA : Texas Instruments Incorporated.
- [2] Bejo, A. 2008. C dan AVR Rahasia Kemudahan Bahasa C dalam Mikrokontroler ATmega8535. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- [3] S. Zhang, C. Zhu, J. K. O. Sin, and P. K. T. Mok, "A novel ultrathin elevated channel low-temperature poly-Si TFT," *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 20, pp. 569–571, Nov. 1999.
- [4] Dean Camera. 2013. Using the USART in AVR-GCC.2-5.
- [5] Hendratoro, Gamantyo. 2008. Teknologi Komunikasi Nirkabel : Perkembangan Terkini dan Peluang Indonesia. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [6] Leonardus catur K.E.P dan Harlianto Tanudjaja. Komunikasi Serial Berbasis Protokol ModBus untuk Alat Penghitung Produksi Garmen. Komunikasi Serial Berbasis Protokol,01(01).53-54.
- [7] ModIcon. 1996. ModBus Protocol Reference Guide. ModIcon, Inc: U.S.A.
- [8] Riana Defi Mahadji Putri, dkk. 2009. Prototipe Pemodelan Parking Assistant Menggunakan Sensor Jarak Pada Kendaraan Roda Empat. Semarang : Universitas Negeri Semarang.21-23.
- [9] Soebhakti Hendawan. 2009. TPA81 Thermopile Array. AVR Application. 1-6.
- [10] Sugiyono. 2012. Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D. Bandung : Alfabeta.
- [11] S Habeeb, Raafat. 2011. Design a Programmable Sequence Controller Utilizing I2C BUS. 3, (2), 7-11.
- [12] Wilson, Robert. 2007. Control dan Automation Of Electrical Power Distribution System. Taylor & Francis Group: United States of America.
- [13] "atmega32" 20 Februari 2014. <<http://www.atmel.com/dev/ICs/atmega32.aspx>>
- [14] "KYL-1020U Serial RF Modul". Klinik Robot. 1 Maret 2014. <[http://klinik\\_robot.indonetwork.co.id/1175708/kyl-1020u-serial-rf-modules-433mhz-data-transceiver.htm](http://klinik_robot.indonetwork.co.id/1175708/kyl-1020u-serial-rf-modules-433mhz-data-transceiver.htm)>
- [15] "LCD" 17 Februari 2014.< <http://www.engineersgarage.com/electronIC-components/16x2-lcd-module-datasheet> >
- [16] "Motor DC" 22 Februari 2014.<<http://www.jualarduino.com/motor/motor-dc-gearbox-640-rpm>>
- [17] "Protokol ModBus" 25 Februari 2014. <<http://www.ModIcon.com/techpubs/toc7.html>>
- [18] "SRF04" 21 Februari 2014. <<http://www.robot-electronICs.co.uk/hm/srf04tech.htm>>
- [19] "Thermal Sensors" 17 Februari 2014.< <http://www.robot-electronICs.co.uk/hm/srf04tech.htm> >