

Makalah Seminar Tugas Akhir

DESAIN SISTEM KURSI RODA CERDAS MENGGUNAKAN PENDEKATAN MODEL FUNGSIONAL DAN MODEL TINGKAH LAKU DAN PERANCANGAN PERILAKU *OBSTACLE AVOIDANCE*

Miftahurrozaq^[1], Iwan Setiawan^[2], Budi Setyono^[2]

Abstract : While the needs of many individuals with disabilities can be satisfied with power wheelchairs, some members of the disabled community find it difficult or impossible to operate a standard power wheelchair. To accommodate this population, several researchers have used technologies originally developed for mobile robots to create “smart wheelchairs” that reduce the physical, perceptual, and cognitive skills necessary to operate a standard wheelchair.

The aim of this final project is to implement a control system in a smart wheelchair so that can be controlled by using joystick and can avoid the obstacle and can go to the object without avoiding them. Control system design of this smart wheelchair using a functional model approach and behavior model. Functional model shows the features of smart wheelchairs. While behavioral models show behavior of smart wheelchair. Smart wheelchair used ultrasonic sensor to detect any obstacle in around wheelchair, and used current sensor to detect if there any collision.

From the experiment result, we can get a conclusion that the correctness of the ultrasonic sensor have an effect on to detection of obstacle in front of the wheelchair. Smart wheelchair can be controlled by using joystick, wheelchair movement as according to change of value at joystick. Smart wheelchair can detect obstacles and can move to avoid obstacles and can approach the object that want to be approached by passengers. Smart wheelchair can detect if there any collision with an object, then escaping from it by moving backward.

Key words : Smart Wheelchair, functional model, behavior model, Joystick, Ultrasonic Sensor

Kursi roda adalah alat bantu yang digunakan oleh orang yang mengalami kesulitan berjalan menggunakan kaki, baik dikarenakan oleh penyakit, cedera, maupun cacat. Alat ini bisa digerakan dengan didorong oleh pihak lain, digerakan dengan menggunakan tangan, atau dengan menggunakan mesin otomatis.

Ketika beberapa individu dengan keterbatasan gerakan dapat terbantu dengan kursi roda standar, beberapa individu dengan keterbatasan gerakan lainnya seperti individu dengan keterbatasan gerak kaki dan tangan akan mengalami kesulitan atau mustahil untuk dapat mengoperasikan kursi roda standar. Untuk mengakomodasi populasi ini, beberapa peneliti telah mempergunakan teknologi yang mula-mula dikembangkan untuk *mobile robot* untuk menciptakan *smart wheelchair* (kursi roda cerdas), yang mengurangi kebutuhan fisik, keterampilan, dan keterampilan yang diperlukan untuk mengoperasikan kursi roda standar. Kursi roda cerdas (*smart wheelchair*), pada dasarnya terdiri dari satu kursi roda standar yang dilengkapi dengan komputer dan beberapa sensor, atau satu *mobile robot* yang dipasangkan kursi. Kursi roda cerdas didisain untuk menyediakan kemudahan bagi pemakainya dengan sejumlah cara yang berbeda, seperti memastikan bepergian tanpa bentrokan/tubrukan, membantu kinerja dari tugas spesifik (misalnya, melewati pintu

masuk), dan atau secara otomatis mengantarkan pemakai ke lokasi tertentu.

Pembatasan Masalah

Pada Tugas Akhir ini beberapa hal yang menjadi batasan antara lain:

1. Ruang gerak kursi roda berada pada daerah yang datar sehingga kursi roda dapat bergerak dengan baik.
2. Mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler AVR ATmega128.
3. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa C yang diadaptasikan pada *software Code Vision AVR*.
4. Sensor yang digunakan adalah sensor ultrasonik yang diproduksi oleh Parallax (Sensor PING)))TM Ultrasonik *Range Finder*.
5. Digunakan 3 buah sensor ultrasonik, sehingga terdapat keterbatasan dalam pendeteksian halangan.
6. Range pendeteksian antara 10cm-100cm.
7. Kursi roda melakukan aksi menghindari rintangan dengan cara berbelok arah ke kanan atau ke kiri.
8. Kursi roda cerdas yang dibuat menggunakan penggerak jenis diferensial.
9. Pengendalian kecepatan motor DC dilakukan melalui PWM.

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro UNDIP

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro UNDIP

10. Tidak membahas mekanik kursi roda.

Kinematika Kursi Roda Penggerak Differensial

Kursi roda tipe penggerak diferensial memiliki 2 buah roda penggerak yang terpisah (kanan dan kiri). Kedua roda ini digerakkan oleh motor DC yang ditempatkan pada satu sumbu secara terpisah. Sehingga kedua roda ini berfungsi sebagai penggerak sekaligus sebagai kemudi kursi roda. Sebagai penyeimbang umumnya kursi roda ini dilengkapi juga dengan satu atau dua buah roda castor yang ditempatkan dibagian belakang kursi roda tersebut.

Secara matematis kecepatan linier dan kecepatan angular robot mobil dirumuskan sesuai persamaan (2.1).

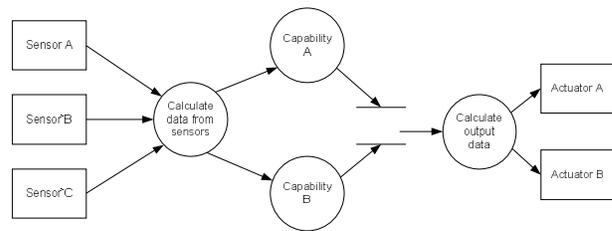
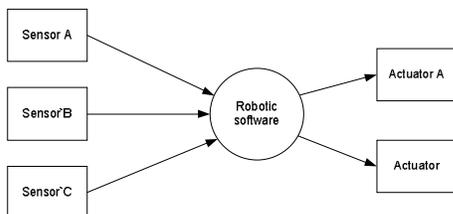
$$\begin{bmatrix} V(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{L} & -\frac{1}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R(t) \\ V_L(t) \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Persamaan (2.1) diatas pada dasarnya memperlihatkan relasi kinematika langsung antara kecepatan linier roda-roda robot terhadap kecepatan linier dan angular robotnya, sedangkan Persamaan (2.2) berikut memperlihatkan relasi sebaliknya (Kinematika Balik).

$$\begin{bmatrix} V_R(t) \\ V_L(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{L}{2} \\ 1 & -\frac{L}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Model Fungsional

Diagram fungsional ini adalah salah satu alat pembuatan model yang sering digunakan, khususnya bila fungsi-fungsi sistem merupakan bagian yang lebih penting dan kompleks dari pada data yang dimanipulasi oleh sistem. Dengan kata lain, diagram fungsional adalah alat pembuatan model yang memberikan penekanan hanya pada fungsi sistem.

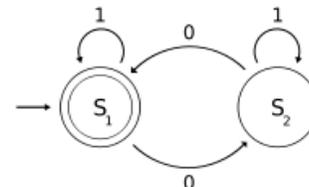


Gambar 2.2 Contoh diagram fungsional.

Diagram Statechart

Diagram keadaan (*state diagram*) adalah salah satu metode untuk menggambarkan proses operasi sebuah sistem. Sistem berbasis keadaan dapat digambarkan dengan keadaan keadaan sistem tersebut dan transisi di antaranya (transisi ini hanya terjadi sesaat).

Statechart adalah salah satu varian *state diagram* yang diusulkan oleh David Harel sekitar tahun 1983. *Statechart* pada awalnya digunakan sebagai “bahasa” atau media komunikasi antar *engineer* dengan latar belakang ilmu yang berbeda pada perusahaan pesawat terbang di Israel. Dalam perkembangan selanjutnya, *statechart* banyak diadopsi sebagai basis perancangan sistem-sistem *embedded* yang lebih luas.



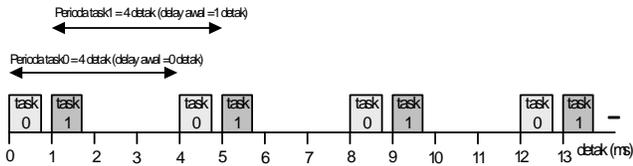
Gambar 2.1 Contoh diagram keadaan sederhana.

Task Scheduling

Task Scheduling adalah metode yang digunakan untuk menjadwalkan tugas (*task*) yang harus dikerjakan oleh mikrokontroler. Tujuan dari penjadwalan tugas ini adalah karena salah satu syarat penting yang harus dipenuhi dalam sistem-sistem *embedded reactive* adalah masalah kekangan dan respon waktu sistem. Dengan adanya penjadwalan tugas, maka tugas hanya dikerjakan sesuai kebutuhan saja. Selain itu antara satu tugas dengan tugas yang lain tidak saling menunggu satu sama lain, misalnya apabila pada suatu saat tugas A harus dikerjakan, maka tugas A akan segera dikerjakan tanpa harus menunggu tugas yang lain selesai dikerjakan. Ilustrasi cara *task scheduling* ditunjukkan pada Gambar 2.2.

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro UNDIP

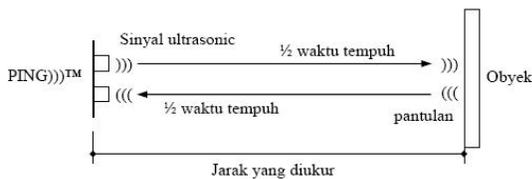
² Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro UNDIP



Gambar 2.2 Contoh ilustrasi *task scheduling*.

Sensor Jarak

Sensor yang digunakan adalah “PING)))TM Ultrasonic Range Finder”, buatan Parallax. Ilustrasi cara kerja sensor ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Ilustrasi cara kerja PING)))TM.

Joystick

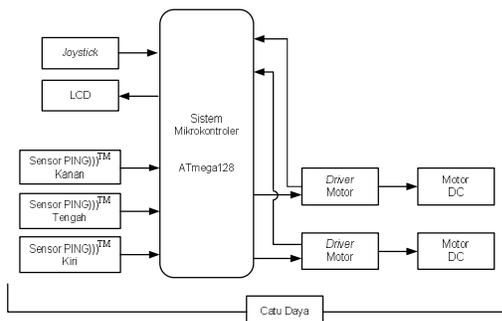
Sebuah joystick pada dasarnya terdiri dari dua buah potensio, di mana potensio pertama akan berputar saat joystick digerakkan ke kiri dan kanan dan potensio kedua akan berputar saat joystick digerakkan ke atas dan bawah. Keluaran dari potensio menghasilkan tegangan analog yang berubah sebanding dengan gerakan putaran potensio yang merupakan hasil gerakan joystick.

PERANCANGAN

Perancangan sistem pemanas bearing meliputi perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perancangan perangkat lunak (*software*).

Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Secara umum perancangan sistem yang akan dibuat dapat dilihat pada Gambar 3.1.

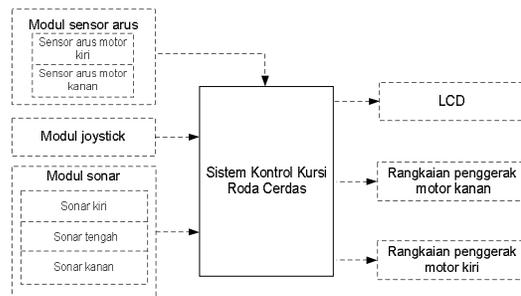


Gambar 3.1 Blok diagram sistem

Perancangan *Software*

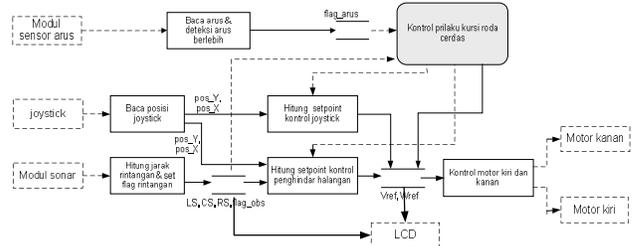
Pada sistem kursi roda cerdas ini dirancang untuk dapat dikendalikan dengan menggunakan *joystick*, dan dengan penambahan 3 buah sensor PING)))TM, kursi roda cerdas dirancang untuk dapat mendeteksi halangan/rintangan yang ada di depan dan dapat menghindarinya, serta mendekati objek jika objek tersebut ingin didekati oleh penumpang, selain itu kursi roda cerdas juga dirancang untuk dapat mendeteksi adanya benturan/tabrakan. Sistem pengendalian kursi roda cerdas ini dirancang menggunakan pendekatan diagram fungsional dan diagram tingkah laku (*statechart*).

Langkah pertama dalam perancangan menggunakan pendekatan diagram fungsional adalah menggambar diagram fungsional level 0. Diagram fungsional level 0 pada kursi roda cerdas ditunjukkan oleh gambar 3.2.



Gambar 3.2 Model fungsional level 0

Setelah menggambar model fungsional level 0, langkah selanjutnya adalah mendekomposisikan model fungsional dengan menambahkan fungsi-fungsi dan tingkah laku dari kursi roda cerdas. Adapun model fungsional level 1 ditunjukkan oleh gambar 3.3.



Gambar 3.3 Gambar model fungsional level 1

Tugas-tugas (*task*) yang harus dikerjakan oleh program antara lain adalah sebagai berikut.

1. Baca Arus dan Deteksi Arus Berlebih

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro UNDIP

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro UNDIP

Merupakan tugas untuk membaca arus dari kedua motor dan mengaktifkan *flag_current* jika arus pada salah satu motor lebih dari 4.75A.

2. Baca Posisi *Joystick*

Merupakan tugas untuk membaca posisi dari *joystick*.

3. Hitung Jarak Rintangan dan *Set Flag* Rintangan

Merupakan tugas yang berisi perintah untuk menghitung jarak objek yang terdeteksi oleh sensor PING)))TM dan mengaktifkan *flag_obs* jika jarak terdeteksi kurang dari batas yang ditentukan.

4. Kontrol Perilaku Kursi Roda Cerdas

Merupakan tugas untuk mengatur tingkah laku kursi roda cerdas. Tingkah laku kursi roda cerdas antara lain yaitu *joystick*, *obstacle avoidance* dan *anti collision*.

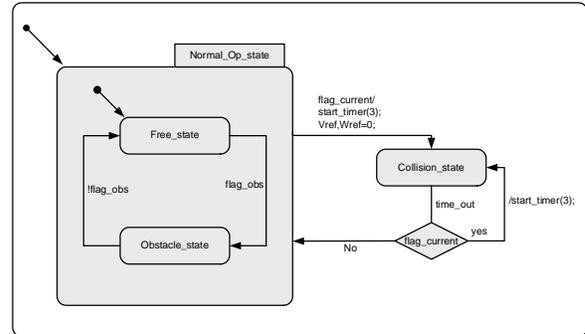
5. Kontrol Motor Kanan dan Motor Kiri

Merupakan tugas untuk mengubah variable kecepatan linier (*v*) dan kecepatan angular (*w*) menjadi kecepatan motor kanan dan kecepatan motor kiri.

dibangun. Dengan menggunakan softtimer yang tersaji, dapat dibuat *timer* dengan jumlah sesuai kebutuhan.

Behaviour

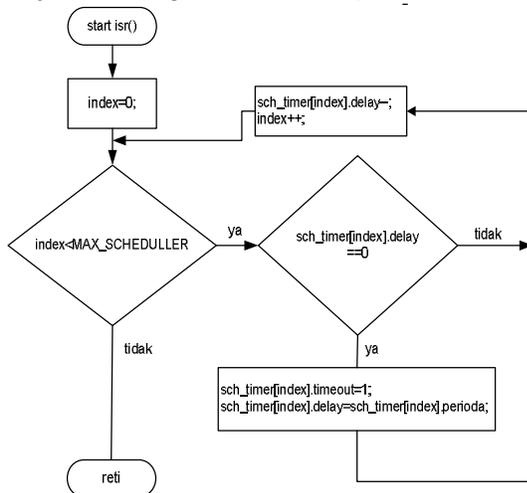
Tugas subrutin ini adalah untuk mengatur tingkah laku kursi roda cerdas. Dalam subrutin ini meliputi 3 tingkah laku, yaitu *joystick*, *obstacle avoidance* dan *anti collision*. Kontrol perilaku kursi roda cerdas dirancang dengan menggunakan diagram tingkah laku atau *statechart*. Gambar 3.5 merupakan *statechart* dari kontrol tingkah laku kursi roda cerdas.



Gambar 3.5 Gambar diagram tingkah laku kursi roda cerdas.

Soft Timer

Program dari perancangan kursi roda cerdas ini dirancang menggunakan teknik *task scheduling* dengan detak sebesar 0.1 ms. Perancangan teknik *task scheduling* dilakukan dengan membuat *template soft timer* dengan memanfaatkan *timer 3* dari mikrokontroler ATmega128. Gambar 3.4 menunjukkan Diagram alir dari *soft timer*.



Gambar 3.4 Gambar diagram alir dari *soft timer*.

Template Softtimer yang dapat digunakan sebagai sistem penjadwal dan sekaligus dapat dimanfaatkan juga sebagai basis operasi tundaan yang diperlukan dalam sistem *reactive* yang sedang

Joystick

Merupakan subrutin program yang berisi perintah untuk mengatur gerakan kursi roda agar sesuai dengan gerakan *joystick*.

Anti Collision

Merupakan subrutin program untuk membuat kursi roda melepaskan diri atau melarikan diri dari suatu objek yang berada didepannya apabila terdeteksi adanya benturan/tabrakan dengan objek tersebut.

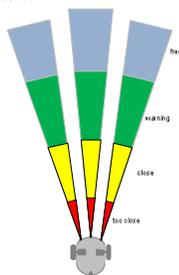
Obstacle avoidance

Merupakan subrutin program yang berisi perintah untuk mengatur kursi roda agar bergerak menghindari halangan yang berada di depannya, dengan cara berbelok ke kiri atau kanan dan untuk mendekati objek yang ingin didekati oleh penumpang.

Perancangan tingkah lau obstacle avoidance dilakukan dengan membagi range dari tiap sensor menjadi 4 bagian yaitu *too close*, *close*, *warning* dan *free*. Daerah *too close* adalah daerah yang berada pada jarak kurang dari 20 cm. daerah *close* adalah daerah yang berada pada jarak diantara 20 cm sampai 70 cm. daerah *warning* adalah daerah yang berada pada jarak diantara 70 cm sampai 100 cm. Sedangkan daerah *free* adalah daerah yang berada pada jarak lebih dari

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro UNDIP
² Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro UNDIP

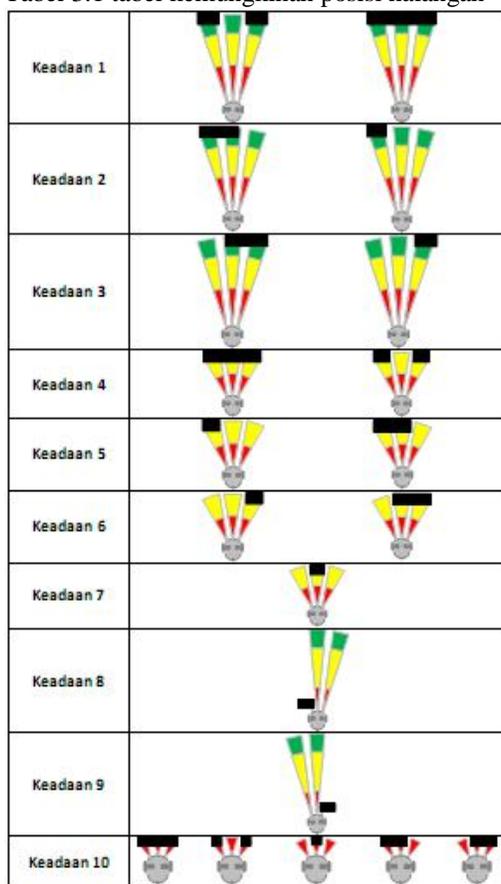
100 cm. Gambar 3.5 merupakan gambar pembagian area dari sensor jarak.



Gambar 3.5 Gambar pembagian area dari sensor jarak.

Dari keempat daerah tersebut, maka dapat disusun 10 keadaan berdasarkan kemungkinan posisi halangan seperti pada tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 tabel kemungkinan posisi halangan



Jika *joystick* diarahkan ke depan, maka kursi roda akan bergerak menghindari halangan dengan kecepatan linier (v) dan kecepatan angular yang berbeda pada tiap-tiap keadaan. Tetapi jika *joystick* diarahkan menuju halangan, maka kursi roda akan menuju halangan tersebut dengan kecepatan yang semakin melambat dan akan berhenti pada jarak kurang dari sama dengan 20 cm.

HASIL PENGUJIAN

Pengujian *Driver Motor DC*

Driver motor yang digunakan adalah IC Rangkaian *driver motor EMS (Embedded Module Series) 5 A H-Bridge*, *driver* ini mendapat masukan dari PWM yang dihasilkan oleh *timer 1* mikrokontroler AVR. Hasil pengujian *driver motor* dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian *Driver motor*

Nilai OCR1A	Nilai OCR1B	$V_{\text{keluaran channel 1}}$ (volt) terukur	$V_{\text{keluaran channel 2}}$ (volt) terukur	V_{keluaran} (volt) Perhitungan
100	100	2,3	2,1	1,17
200	200	3,9	3,8	2,35
300	300	4,9	4,8	3,52
400	400	5,9	5,6	4,69
500	500	6,8	6,9	5,87
600	600	7,7	8,0	7,04
700	700	8,5	8,8	8,21
800	800	9,3	9,7	9,38
1023	1023	11,8	12,1	12,0

Pengujian *driver motor DC* menggunakan tegangan 12 V. Dari tabel 4.1 di atas terlihat bahwa semakin besar nilai OCR1A dan OCR1B yang diberikan maka akan semakin besar tegangan yang dihasilkan.

Pengujian Sensor PING)))TM

Pengujian terhadap sensor PING)))TM dilakukan dengan mengukur jarak suatu benda terukur yang diletakkan di hadapan sensor, pembacaan sensor dibatasi pada jarak 10 cm – 100 cm. Data hasil pengukuran ditunjukkan pada tabel 4.2

Dari di dapat bahwa sensor PING)))TM tidak proposional dengan jarak sesungguhnya, hal ini dapat disebabkan karena pengukuran serta *timer* yang tidak tepat.

Tabel 4.2 Hasil pengukuran jarak dengan menggunakan PING)))TM.

No.	Jarak Terukur (cm)	Jarak Terdeteksi PING))) TM		
		PING))) TM kiri (cm)	PING))) TM tengah (cm)	PING))) TM tengah (cm)
1	10	10	9	9
2	20	19	19	19
3	30	30	30	30
4	40	41	39	39
5	50	50	50	50
6	70	70	70	70
7	90	91	90	91
8	110	111	109	109
9	130	131	129	129

Pengujian Tingkah Laku Kursi Roda Cerdas

Pengujian tingkah laku kursi roda cerdas dilakukan untuk mengetahui dan menganalisa hasil kerja (performa) dari sistem pengendalian kursi roda

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro UNDIP

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro UNDIP

cerdas. Pengujian meliputi tingkah laku kursi roda cerdas tanpa halangan dan dengan halangan.

Pengujian Tingkah Laku Kursi Roda Cerdas Tanpa Halangan

Pada pengujian ini, ketiga sensor jarak tidak mendeteksi adanya halangan, dan kursi roda dikendalikan dengan menggunakan joystick. Pengujian dilakukan dengan merubah posisi joystick, dan membandingkan nilai PWM kanan dan kiri kursi roda cerdas dengan hasil perhitungan. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Dari Tabel 4.3, didapatkan nilai PWM hasil pengujian sama dengan hasil perhitungan, tanda (-) menunjukkan roda berputar mundur, hal ini menunjukkan gerakan kursi roda telah sesuai dengan perubahan posisi joystick.

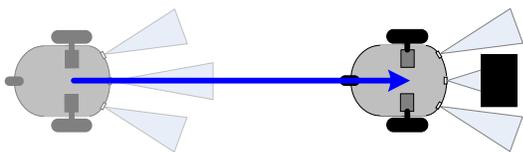
Tabel 4.3 Hasil pengujian tingkah laku kursi roda cerdas tanpa halangan.

Joystick		Duty cycle Hasil Pengujian (%)		Duty cycle Hasil Perhitungan (%)	
v	w	PWM Kiri	PWM Kanan	PWM Kiri	PWM Kanan
0	0	0	0	0	0
100	0	100	100	100	100
100	100	0	100	0	100
0	100	(-)80	80	(-)80	80
-100	100	(-)100	0	(-)100	0
-100	0	(-)100	(-)100	(-)100	(-)100
-100	-100	0	(-)100	0	(-)100
0	-100	80	(-)80	80	(-)80
100	-100	100	0	100	0

Pengujian Tingkah Laku Kursi Roda Cerdas dengan Halangan

Pada tahap ini, pengujian dilakukan dengan meletakkan benda di beberapa letak yang dianggap sebagai halangan dan sebagai objek yang ingin di dekati.

Docking

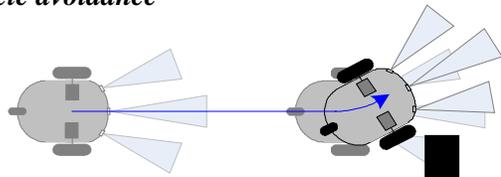


Gambar 4.1 Hasil pengujian tingkah laku docking

Gambar 4.1 menunjukkan kursi roda dapat mendeteksi halangan dan berhenti sebelum menabraknya. Ketika bergerak maju, kecepatan kursi roda akan berkurang atau melambat, dan berhenti ketika jarak dari halangan kurang dari atau sama dengan 20 cm.

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa semakin kecil jarak kursi roda dengan halangan yang berada di depannya, kecepatan kursi roda (v) akan semakin berkurang dan berhenti ketika jarak dari halangan kurang dari 20 cm. Tingkah laku ini dapat dinamakan sebagai tingkah laku *docking*. Pengendali dapat mendekatkan kursi roda atau menepi (*docking*) ke suatu benda, dan bukan menghindarinya.

Obstacle avoidance

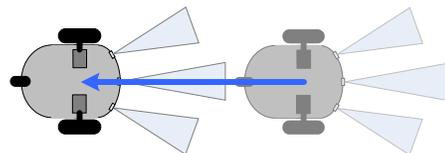


Gambar 4.2 Hasil pengujian tingkah laku obstacle avoidance

Gambar 4.2 menunjukkan kursi roda dapat mendeteksi adanya halangan di sebelah kiri, kursi roda bergerak menghindari halangan dengan berbelok ke arah kanan.

Dari hasil pengujian, dapat dilihat bahwa semakin kecil jarak halangan yang terdeteksi maka nilai kecepatan angular (w) akan semakin besar.

Pengujian Tingkah Laku Anti Collision



Gambar 4.3 Pengujian tingkah laku anti collision

Gambar di atas menunjukkan tingkah laku *anti collision*. Ketika terjadi benturan/tubrukan, sensor arus akan mendeteksi arus motor kanan atau kiri melebihi dari batas yang ditentukan (4,75 A), sehingga kursi roda akan melarikan diri atau

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro UNDIP

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro UNDIP

melepaskan diri dengan berhenti selama 2 detik, dan kemudian mundur selama 1 detik.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Kursi roda cerdas dapat dikendalikan dengan menggunakan joystick. Gerakan kursi roda sesuai dengan perubahan nilai pada joystick, jika di sekitar kursi roda tidak terdeteksi adanya halangan.
2. Kursi roda cerdas dapat mendeteksi adanya halangan yang berada di depan dan disamping, jika joystick diarahkan menuju ke arah halangan maka kursi roda akan menuju halangan tersebut dan akan berhenti pada jarak kurang dari sama dengan 20 cm. Tingkah laku ini dinamakan sebagai *docking*.
3. Kursi roda cerdas dapat mendeteksi adanya halangan yang berada di depan dan disamping, jika joystick diarahkan lurus ke depan maka kursi roda akan menghindari halangan tersebut dengan berbelok secara perlahan-lahan dan semakin berbelok tajam jika halangan semakin dekat. tingkah laku ini dinamakan sebagai *obstacle avoidance*.
4. Kursi roda cerdas dapat mendeteksi adanya benturan/tabrakan dengan benda di depannya yang tidak terdeteksi oleh sensor PING)))TM menggunakan sensor arus, sehingga kursi roda akan melepaskan diri dengan berhenti selama 2 detik, dan kemudian mundur selama 1 detik, tingkah laku ini dinamakan sebagai *anti collision*.

Saran

Untuk pengembangan sistem lebih lanjut, maka penulis memberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Penambahan sensor jarak pada kursi roda cerdas ini akan memperluas area pendeteksian halangan.
2. Penambahan sensor *limit switch* pada sekeliling kursi roda dapat mendeteksi letak terjadinya benturan/tabrakan.
3. Penambahan sensor kamera pada kursi roda cerdas dapat digunakan untuk membedakan objek yang ada di depannya adalah halangan atau bukan.
4. Kursi roda cerdas dapat dikembangkan dengan menambahkan kemampuan tingkah laku yang lain, seperti pemetaan ruang (*mapping*), dan

otomatis mengantarkan pemakai ke posisi tertentu (*go to goal*).

5. Kursi roda cerdas dapat dikembangkan untuk dikendalikan menggunakan media lain selain *joystick*, seperti dengan menggunakan suara atau gerakan otot.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andrea, Bonci, L. Sauro, M. Andrea, dan V. Massimo “*Navigation system for a smart wheelchair*”. Journal of Zhejiang University SCIENCE. 2004.
- [2] Heryanto, M.Ary dan Wisnu Adi P., *Pemrograman Bahasa C untuk Mikrokontroler ATMEGA8535*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2008.
- [3] Joni, I Made dan Budi Harharjo, *Pemrograman C dan Implementasinya*, Penerbit Informatika, Bandung, 2006.
- [4] Prasetyo, Rudy, *Implementasi Sistem Kontrol Navigasi Reaktif Subsumption Pada Kursi Roda Cerdas*, Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2008.
- [5] Setiawan, Iwan, *Fungsi Soft Timer Untuk Keperluan Operasi Tundaan dan Penjadwalan (Scheduling) Pada Sistem Embedded*, <http://iwan.blog.undip.ac.id>. Juni 2009.
- [6] Setiawan, Iwan, *Software Development Methodology for Robotic and Embedded Systems (from drawing to coding)*, <http://iwan.blog.undip.ac.id>. Desember 2009.
- [7] Setiawan, Iwan, *Perancangan Sistem Embedded Berbasis Statechart: Studi Kasus Pada Line Follower Mobile Robot*, <http://iwan.blog.undip.ac.id>. Juni 2009.
- [8] Setiawan, Iwan. Trias A. Darjat. “*Rancang Bangun Sistem Kontrol Robot Mobil untuk Keperluan Navigasi Darat Berbasis Trayektori Bezier*”. Universitas Diponegoro. 2006
- [9] -----, *Atmega128 Data Sheet*, <http://www.atmel.com>.
- [10] -----, *Data Flow Diagram*, <http://www.gunadarma.ac.id>.
- [11] -----, *Introduction-to-DFD*, <http://www.smartdraw.com>.
- [12] -----, PING)))TM *Ultrasonic Distance Sensor Data Sheet*, <http://www.parallax.com>.

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro UNDIP

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro UNDIP

Miftahurrozaq (L2F 005 557)



Lahir di Kudus, 12 November 1988. Saat ini sedang melanjutkan studi pendidikan strata I di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Konsentrasi Kontrol.

Mengetahui dan mengesahkan,

Dosen Pembimbing I Dosen Pembimbing II

<u>Iwan Setiawan, ST, MT</u>	<u>Budi Setyono, ST, MT</u>
NIP	NIP
197309262000121001	197005212000121001
Tanggal: _____	Tanggal: _____

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro UNDIP

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro UNDIP