Jurnal Generic, Vol. 9, No. 2, September 2014, pp. 320~331
ISSN: 1907-4093 (print), 2087-9814 (online)

Implementasi Arsitektur Behavior-Based dengan Menggunakan Fuzzy untuk Navigasi Car-Like Mobile Robot dalam Lingkungan yang Tak Dikenal

Sarmayanta Sembiring[1], **Usman Baafai** [2], **Tulus**[3], **dan Pernantin Tarigan**[4]

[1]Jurusan Sistem Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya
[2,4]Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara
[3]Departemen Matematika, FMIPA Universitas Sumatera Utara
E-mail: yanta_pelawi@yahoo.co.id, ubaafai@usu.ac.id, Tulus@usu.ac.id, Perrytar@yahoo.com

Abstrak

Sebuah fuzzy logic controller dengan arsitektur behavior-based dirancang untuk menavigasi Car-Like Mobile Robot dalam lingkungan tak dikenal. Sistem ini terdiri dari tiga perilaku dasar, yaitu goal seeking behavior, obstacle avoidance behavior, dan move backward behavior. Setiap perilaku memberikan informasi untuk mengendalikan sudut kemudi dan kecepatan linear. Sebuah behavior-controller dirancang untuk mengatur penggunaan behavior berdasarkan perioritas dalam mengendalikan sudut kemudi dan kecepatan linear. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa arsitektur ini dapat membawa car-like mobile robot menuju target dengan aman tanpa bertabrakan pada lingkungan yang tak dikenal, dapat menghindari rintangan, dan dapat keluar dari kondisi kebuntuan saat menghadapi rintangan cekung.

Kata kunci: *Fuzzy logic controller, car-like mobile robot, basic-behavior, behavior-controller.*

Abstract

A fuzzy logic controller with behavior-based architecture was designed for the navigation of car-like mobile robot in the unknown environment. This system consisted of three basic-behaviors such as goal-seeking behavior, obstacle-avoidance behavior, and move–backward behavior. Each behavior provided information to control steering angle and linear speed. A behavior-controller was designed to control the use of behavior based on priority in controlling the steering angle and linear speed. The result of the experiment showed that this architecture can bring the car-like mobile robot safely to the target without collision in the unknown environment, can avoid obstacle, and can get out of deadlock condition when facing concave obstacle.

Keywords: *Fuzzy Logic Controller, Car-Like Mobile Robot, Basic-Behavior, Behavior-Controller*

1. Pendahuluan

Salah satu tipe dari *mobile robot* adalah *car-like mobile robot* (CLMR). Berdasarkan tipe penggeraknya, CLMR termasuk dengan model penggerak *non-holonomic* yang dalam pergerakannya harus memenuhi fungsi geometri tertentu yang berhubungan dengan arah hadap untuk mendapatkan posisi yang diinginkan. Mobil

Copyright © 2014 Jurnal Generic. All rights reserved

merupakan salah satu contoh kendaraan dengan penggerak *non holonomic*, dimana mobil membutuhkan gerakan yang kompleks (termasuk gerakan mundur) untuk melakukan gerakan parkir, berputar berbalik arah dalam ruang terbatas, dan menghindari rintangan pada jarak yang relatif dekat.

Dalam mengembangkan sistem navigasi otonom CLMR kendala *non holonomic* harus dipertimbangkan dalam perancangan algoritma yang efesien dan akurat untuk navigasi CLMR [1]. Untuk memecahkan masalah navigasi pada robot CLMR, yang memiliki beberapa perilaku dibutuhkan suatu pendekatan untuk mengendalikan *actuator*. Robot berbasis perilaku *(behavior-based robot)* adalah suatu pendekatan yang cocok untuk diaplikasikan pada sistem ini. Metode robot berbasis perilaku adalah suatu pendekatan yang diinspirasikan dari sistem biologis, dimana suatu sistem didistribusikan dalam beberapa modul kecil yang disusun secara paralel [2]. Setiap modul disebut sebagai perilaku *(behavior)*, memiliki target tertentu yang harus dicapai dan berlaku seperti sebuah kendali individu [3].

Banyak metode yang dapat digunakan untuk merancang sistem kendali setiap perilaku, baik secara konvensional maupun dengan metode-metode lain, seperti metode yang menggunakan kecerdasan buatan. Pengendali perilaku konvensional didasarkan pada model lingkungan yang akurat dan model matematika robot, namun pada umumnya sulit membangun model matematika akurat dari lingkungan gerak robot untuk sistem *mobile robot* dengan karakteristik *non linear* dan kopling kuat [4]. *Fuzzy logic controller* (FLC) adalah salah satu solusi dalam merancang sistem kendali perilaku individual robot dengan berbasiskan pengetahuan yang dirumuskan dalam bentuk aturan *(rule base)*. Jika dibandingkan dengan logika konvensional, kelebihan logika *fuzzy* adalah kemampuannya dalam proses penalaran secara bahasa sehingga dalam perancangannya tidak memerlukan persamaan matematika yang rumit [5], selain itu sistem *fuzzy* memiliki kemampuan untuk menangani informasi yang tidak pasti dan tidak tepat yang diperoleh dari sensor dengan menggunakan aturan bahasa [6].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini mengusulkan sebuah arsitektur *behavior based* dengan menggunakan FLC untuk navigasi CLMR dalam lingkungan yang tak dikenal. Metode ini merupakan gabungan dari pendekatan *behavior based* dan metode logika *fuzzy* [6]. Pertama merancang tiga *basic-behavior, behavior* ini adalah *goal seeking behavior, obstacle avoidance behavior,* dan *move backward behavior*. Langkah selanjutnya merancang *behavior-controller* untuk mengintegrasikan perilaku dasar agar CLMR dapat mengendalikan sudut kemudi dan kecepatan *linear* berdasarkan perioritas.

2. Metodologi Penelitian

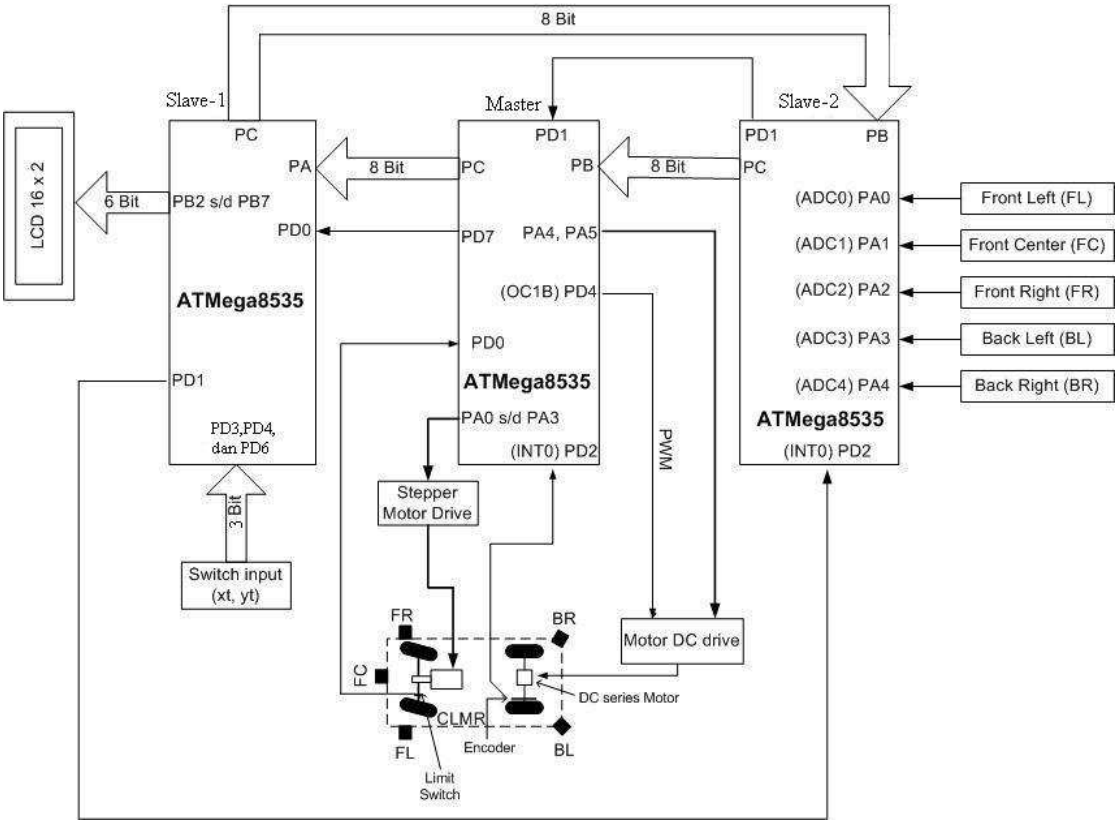
2.1 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras terbagi atas dua bagian utama, yaitu rancangan dan spesifikasi mekanik dan perancangan elektronik. Pada penelitian ini, mekanik CLMR dirakit dengan spesifikasi mekanik CLMR adalah sebagai berikut:

a. Jarak sumbu roda belakang ke sumbu roda depan (L) = 15 cm;
b. Diameter roda belakang = 6,4 cm;
c. Diameter roda depan = 4,5 cm;

d. Jangkauan sudut kemudi depan = $-16{,}69^0 \leq \phi \leq 16{,}23^0$
e. Tinggi sensor belakang dari permukaan = 7 cm;
f. Tinggi sensor depan dari permukaan = 8 cm;
g. Tinggi permukaan lintasan terhadap sasis CLMR = 4 cm.

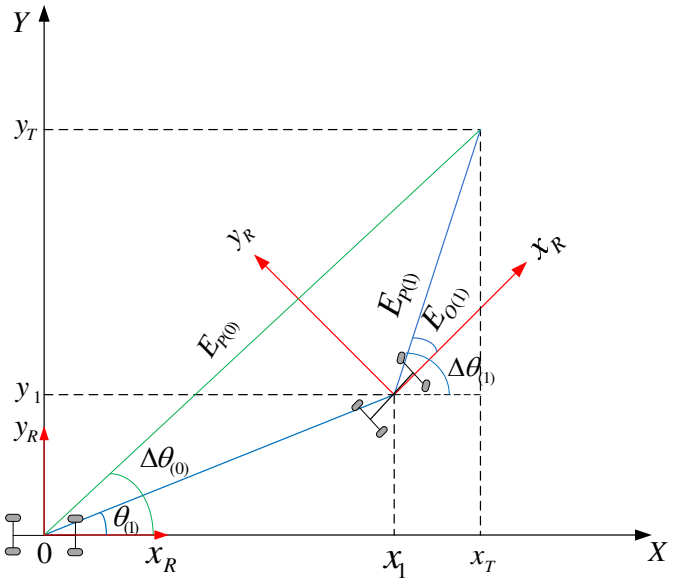
Perancangan sistem elektronik secara keseluruhan menggunakan 3 buah mikrokontroler ATMega8535, 3 buah sensor Sharp GP2D12 (sensor depan), 2 buah sensor Sharp GP2D120 (sensor belakang), DI-Smart *rotary encoder*, IC L293D, IC ULN2003, dan 4 buah *micro switch*. Gambar 1 menunjukkan diagram blok perangkat keras secara keseluruhan beserta pengalokasian pin yang digunakan pada setiap mikrokontroler.



Gambar 1: Diagram Blok Perangkat Keras Keseluruhan

2.2 Update-Posisi

Update-posisi digunakan untuk mengetahui posisi CLMR terhadap target posisi yang ingin dicapai secara *real-time*. Sistem kordinat CLMR ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2: Sistem Koordinat CLMR

Keterangan Gambar 2:
E_P *(position error)* = Jarak robot terhadap target,
E_O *(orientation error)* = Orientasi robot terhadap target,
(X, Y) = Kordinat global robot,
(x_R, y_R) = Kordinat lokal robot,
(x_1, y_1) = Kordinar robot saat ini.

Pada Gambar 2 menunjukkan keadaan awal kordinat global akan sejajar dengan kordinat lokal maka $E_{P(0)}$ dan $E_{0(0)}$ ditunjukkan pada Persamaan 1 dan 2.

$$E_{P(0)} = \sqrt{x_T^{\,2} + y_T^{\,2}} \tag{1}$$

$$E_{O(0)} = 0 - \tan^{-1}\left(\frac{y_T}{x_T}\right) \tag{2}$$

Saat robot bergerak dari kordinat (0,0) ke (x_1,y_1) maka $E_{P(1)}$ dan $E_{0(1)}$ ditunjukkan pada Persamaan 3 dan 4 [1].

$$E_{P(1)} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \tag{3}$$

$$E_{O(2)} = \theta - \Delta\theta \tag{4}$$

Dengan:

$$\Delta x = x_t - x_1$$

$$\Delta y = y_t - y_1$$

$$\Delta\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)$$

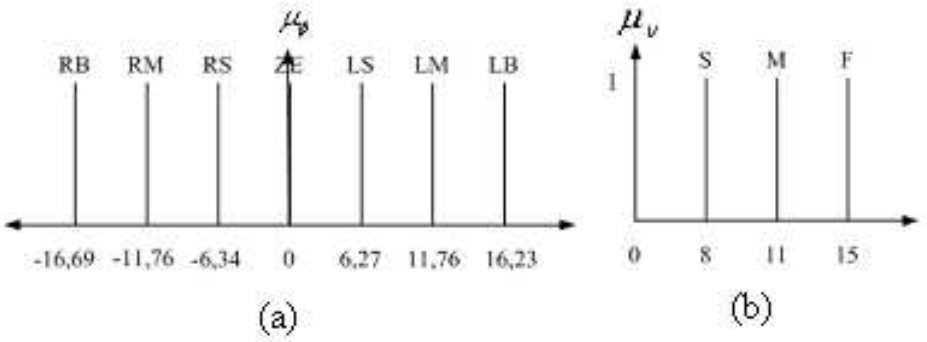
Kordinat lokal CLMR dapat dicari menggunakan persamaan trigonometri seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 5 dan 6.

$$x_R = E_{P(1)}.Cos\ E_{O(1)} \tag{5}$$

$$y_R = E_{P(1)}.Sin\ E_{O(1)} \tag{6}$$

2.3 Perancangan Basic-Behavior

Tiga buah *Basic-Behavior* dirancang menggunakan Fuzzy metode Takagi-Sugeno-Kang (TSK), *Behavior* tersebut adalah *Goal seeking behavior, obstacle avoidance Behavior,* dan *move backward behavior.* Fungsi keanggotaan *output* sudut kemudi disusun dalam bentuk *singletone* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3(a) dan Fungsi keanggotaan *output* kecepatan disusun dalam bentuk *singletone* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3(b).

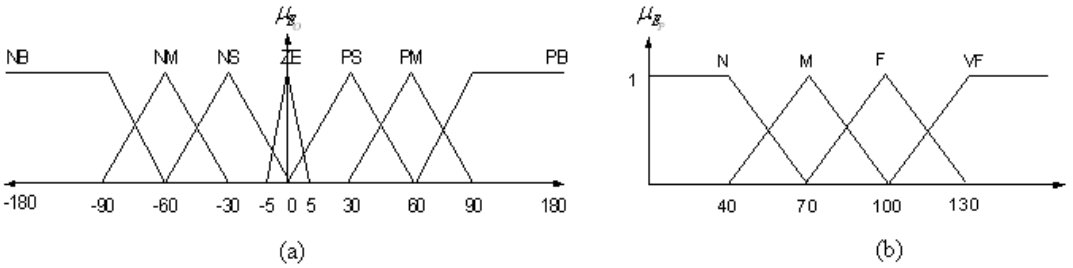


Gambar 3: Fungsi keanggotaan output
(a) Fungsi keanggotaan *output* sudut kemudi (ϕ) dalam satuan (^{0})
(b) Fungsi keanggotaan *output* kecepatan linear (v) dalam (cm/s)

Keterangan Gambar 3(a):
RB = *Right Big*, RM = *Right Medium*, LS = *Right Small*, ZE = *Zero*, LS = *Left Small*, LM = *Left Medium*, dan LB = *Left Big*. Tanda (-) menyatakan sudut kemudi diputar ke arah kanan dan tanda (+) menyatakan sudut kemudi diputar kearah kiri.
Keterangan Gambar 3(b):
S = *Slow*, M = *Medium,* dan F = *Fast*.

2.3.1 Goal Seeking Behavior

Goal seeking behavior adalah sebuah perilaku yang membantu robot mencapai target berupa koordinat (x_t, y_t) yang telah ditentukan dalam kordinat 2D pada bidang datar. *Output* dari Perilaku ini adalah kecepatan *linear* $v_{(t)}$ dan sudut kemudi $\phi_{(t)}$ yang membawa robot mendekati target. Variabel *fuzzy* dibagi menjadi 2 variabel *input*, yaitu variabel E_O dan variabel E_P [1], fungsi keanggotaan E_O dan E_P ditunjukkan pada Gambar 4. Basis aturan *goal seeking behavior* ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 4: Fungsi keanggotaan untuk Goal Seeking Behavior
(a) Fungsi keanggotaan E_O dalam satuan derajat,
(b) Fungsi keanggotaan E_P dalam satuan (cm).

Tabel 1: Basis aturan *goal seeking behavior*

			E_O						
			NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
E_P	N	ϕ	RM	RS	LB	ZE	RB	LS	LM
		v	S	M	S	S	S	M	S
	M	ϕ	LB	LB	LM	ZE	RM	RB	RB
		v	S	S	S	M	S	S	S
	F	ϕ	LB	LM	LS	ZE	RS	RM	RB
		v	S	S	M	F	M	S	S
	VF	ϕ	LM	LS	LS	ZE	RS	RS	RM
		v	S	M	M	F	M	M	S

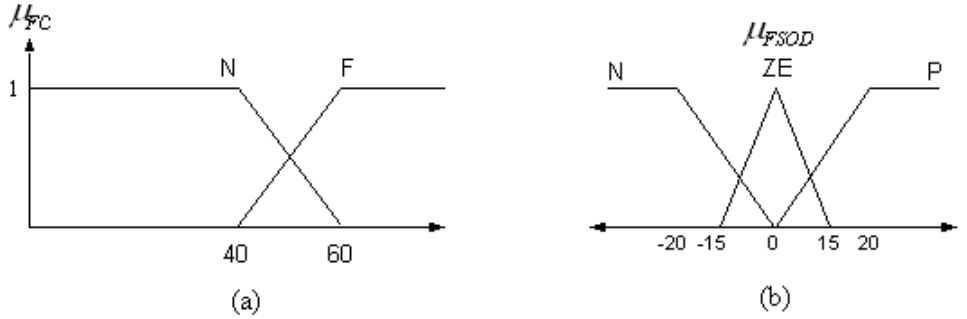
Fungsi keanggotaan E_O terdiri dari 7 himpunan fuzzy, yaitu NB: *Negative Big*, NM = *Negative Medium,* NS = *Negative Small,* ZE = *Zero,* PS = *Positive Small,* PM = *Positive Medium,* dan PB = *Positive Big.* Tanda *negative* menandakan *Orientation Error* (E_O) berada di sebelah kiri robot, dan tanda *positive* menandakan *Orientation Error* (E_O) berada di sebelah kanan robot. Fungsi keanggotaan E_P terdiri dari 4 himpunan *fuzzy*, yaitu, N =*Near*, M= *Medium*, F = *Far*, dan VF = *Very Far.*

2.4 Obstacle Avoidance Behavior

Obstacle avoidance behavior adalah perilaku berbasis sensor, yang membimbing robot bergerak bebas tanpa bertabrakan dalam lingkungan yang tidak dikenal. Pengaturan sudut kemudi ditentukan berdasarkan jarak deteksi sensor depan (FC)

dengan mengacu kepada karakteristik geometri CLMR untuk lintasan yang terbentuk berdasarkan radius terluar yang dibentuk CLMR dengan memperhitungkan jarak ambang minimum (pada penelitian ini ditetapkan 12 cm) pembacaan sensor pada kedua sisi robot sebagai batas jarak aman.

Input crisp dari perilau ini berasal dari sensor jarak *front left, front center,* dan *front right*. Perilaku ini menghasilkan kecepatan *linear* $v_{(t)}$ dan sudut kemudi $\phi_{(t)}$ yang membawa robot menjauhi rintangan dengan arah maju. Variabel *input* terdiri atas 2 variabel *fuzzy*, yaitu variabel FC dan variabel FSOD [6]. FSOD *(Front Side Obstacle Distance)* merupakan selisih jarak hambatan kanan (FR) terhadap jarak hambatan kiri (FL), (FSOD = FR – FL). Fungsi keanggotaan FC dan FSOD ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5: Fungsi keanggotaan untuk Obstacle Avoidance Behavior
(a) Fungsi keanggotaan FC dalam satuan (cm),
(b) Fungsi keanggotaan FSOD dalam satuan (cm).

Fungsi keanggotaan FC terdiri dari 2 himpunan *fuzzy*, yaitu N = *Near* dan F = *Far.* Fungsi keanggotaan FSOD terdiri dari 3 himpunan *fuzzy*, yaitu N = *Negative,* ZE = *Zero,* dan P = *Positive*. Himpunan yang dinyatakan dengan tanda *negative* menandakan rintangan lebih dekat di sisi kanan dan tanda *positive* menandakan rintangan lebih dekat di sisi kiri. Himpunan *fuzzy* ZE menandakan jarak hambatan sisi kiri sama dengan jarak hambatan sisi kanan atau tidak ada hambatan yang terdeteksi pada sisi kiri dan kanan. Basis aturan *obstacle avoidance behavior* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2: Basis Aturan *(Rules Base) Obstacle Avoidance Behavior*

			FSOD		
			N	ZE	P
FC	N	ϕ	LB	LB	RB
		v	S	S	S
	F	ϕ	LM	ZE	RM
		v	M	F	M

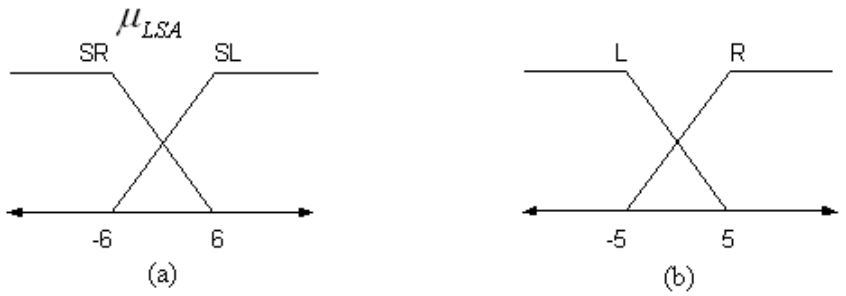
2.5 Move Backward Behavior

Move backward behavior adalah perilaku bergerak mundur yang membantu CLMR mengatasi keterbatasan sudut kemudi pada saat perilaku *obstacle avoidance* tidak dapat

dilaksanakan dengan baik. Selain dapat membantu CLMR menghindari rintangan pada jarak deteksi yang relatif dekat, perilaku ini juga dapat membantu CLMR untuk berbalik arah saat menjumpai rintangan cekung (rintangan yang membawa CLMR dalam kondisi kebuntuan) dengan kombinasi *obstacle avoidance behavior*. Perilaku ini akan digunakan saat robot menghadapi rintangan dengan jarak rintangan ≤ batas minimum dari salah satu atau kombinasi sensor depan. *Output* perilaku ini adalah sudut kemudi $\phi_{(t)}$ dengan kecepatan konstan 8 cm/s.

Skenario yang diterapkan untuk *move backward behavior* sangat sederhana, yaitu menjauhi rintangan dengan arah mundur dengan pengaturan sudut kemudi berlawanan arah saat menghindari rintangan dalam arah maju.

Variabel *fuzzy* pada perilaku ini adalah *back side obstacle distance* (BSOD) dan *last steering angle* (LSA). *Crisp input* pada perilaku ini berasal dari sensor jarak belakang dan sudut kemudi terakhir yang digunakan untuk bergerak maju *(obstacle avoidance behavior)*. Sensor belakang terdiri dari *back left* dan *back right*, *crisp input* untuk variabel BSOD merupakan pengurangan jarak sensor belakang kanan dengan sensor belakang kiri (BSOD = BR – BL)). Fungsi keanggotaan LSA dan BSOD ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6: Fungsi keanggotaan untuk Move Backward Behavior
(a) Fungsi keanggotaan LSA dalam satuan (^{0}),
(b) Fungsi keanggotaan BSOD dalam satuan (cm).

Fungsi keanggotaan LSA dibagi menjadi 2 himpunan *fuzzy*, yaitu SR = *Steering Right* dan SL = *Steering Left.* Fungsi keanggotaan BSOD dibagi menjadi 2 himpunan *fuzzy*, yaitu L =*Left* dan R = *Right.* Basis aturan *move backward behavior* ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3: Basis aturan *(rules base) move backward behavior*

BSOD	LSA	ϕ
L	SR	LB
L	SL	RM
R	SR	LM
R	SL	RB

2.6 Perancangan Behavior-Controller

Behavior-controller dirancang untuk mengintegrasikan *basic-behavior* berdasarkan perioritas tinggi. *Behavior* yang memiliki perioritas tinggi mengendalikan sudut kemudi dan kecepatan CLMR dan posisi CLMR akan selalu di-*update*. Skenario *behavior-controller* adalah sebagai berikut:

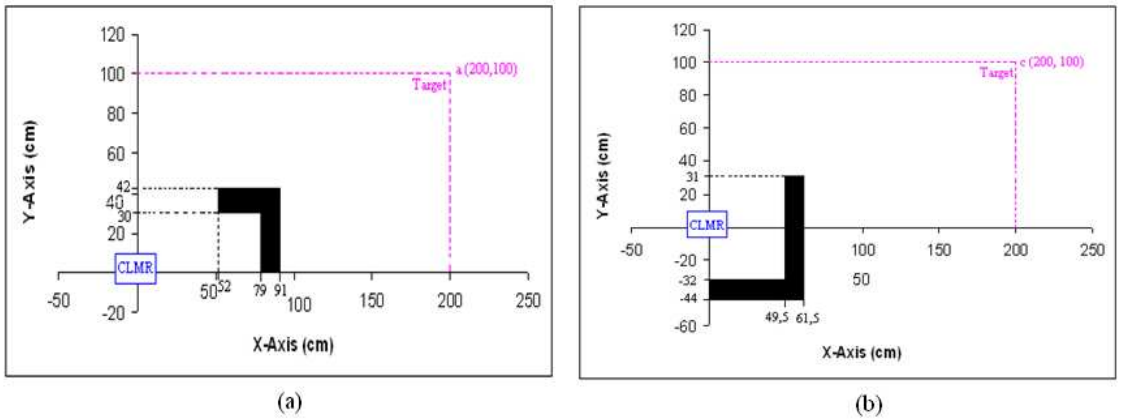
a. Apabila target belum tercapai dan tidak ada rintangan terditeksi, maka *Goal seeking Behavior* yang memiliki perioritas tinggi;
b. Apabila target belum tercapai dan ada rintangan terditeksi sensor depan (FL, FC, atau FR) maka *Obstacle Avoidance behavior* yang memiliki perioritas tinggi;
c. Apabila target belum tercapai dan ada rintangan terditeksi sensor depan (FL, FC, atau FR) di bawah / sama dengan batas minimum yang ditentukan, maka *Move Backward Behavior* yang memiliki perioritas tinggi. Akhir penggunaan *behavior* ini saat sensor belakang (BL dan BR) menditeksi rintangan lebih kecil atau sama dengan jarak yang ditentukan atau sensor depan (FL, FC, dan FR) tidak menditeksi rintangan;
d. Apabila target telah tercapai, maka proses selesai.

3. Hasil dan Analisis

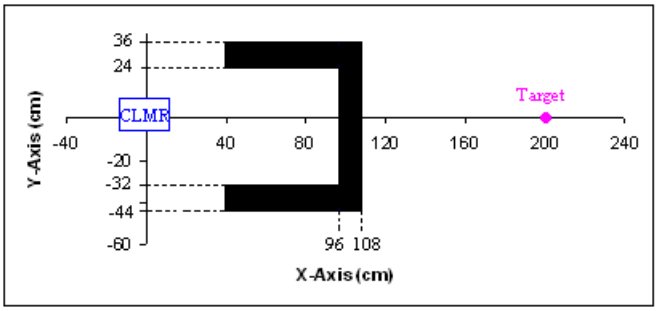
Pengujian dilakukan untuk pencarian target dalam 4 skenario yang berbeda, yaitu pengujian tanpa rintangan, pengujian dengan rintangan dan pengujian dengan rintangan cekung. *Starting point* berada pada titik referensi CLMR terhadap terhadap ruang konfigurasi awal (X = 0, dan Y = 0) dengan orientasi bagian depan CLMR terhadap sumbu X positif.

3.1 Pengujian

Pengujian pencarian target pada titik (X = 100 cm, Y = 200 cm) tanpa rintangan dan dengan rintangan model-1 dan model-2 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Pengujian dengan rintangan model-3 dengan target berada di titik (X = 200 cm, Y = 0 cm) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 7: Pengujian pencarian target dengan rintangan
(a) Model-1 (b) Model-2

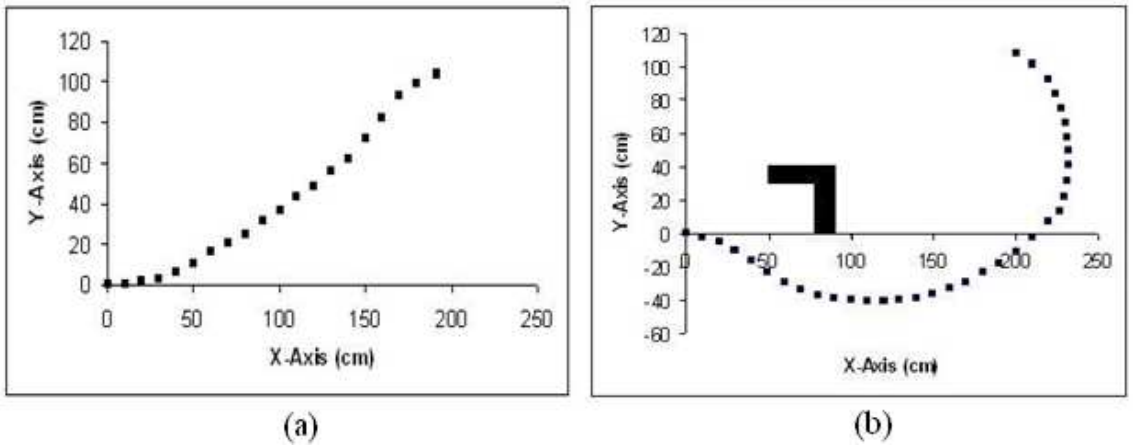


Gambar 8: Pengujian pencarian target dengan rintangan model-3

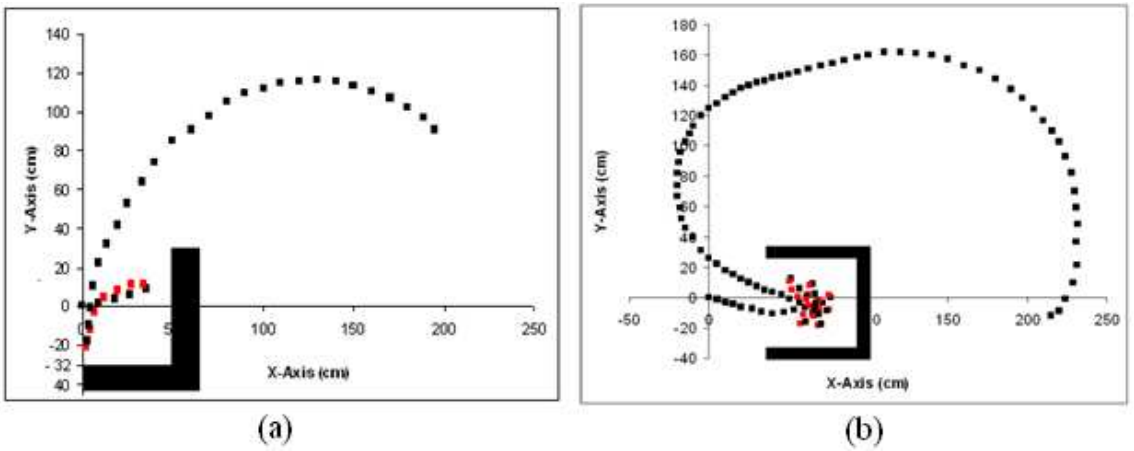
3.2 Hasil Percobaan

Hasil yang didapat dari eksperimen ini adalah pencapaian target dan lintasan CLMR yang digambarkan dalam bentuk Grafik. Segi empat (kotak) berwarna hitam menyatakan arah CLMR bergerak maju, sedangkan segi empat berwarna merah menyatakan arah CLMR bergerak mundur.

Pada pengujian pencarian target tanpa rintangan CLMR berhenti pada titik (X = 192 cm, Y = 104 cm) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9(a). Pada pengujian pencarian target dengan rintangan model-1, CLMR berhenti pada titik (X = 200 cm, Y = 108 cm) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9(b). Pada pengujian pencarian target dengan rintangan model-2, CLMR berhenti pada titik (X = 195 cm, Y = 91 cm) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10(a). Pada pengujian pencarian target dengan rintangan model-3, CLMR berhenti pada titik (X = 212 cm, Y = -10 cm) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10(b).



Gambar 9: Hasil pengujian tanpa rintangan dan dengan rintangan model-1
(a) Hasil pencarian target tanpa rintangan,
(b) Hasil pencarian target dengan rintangan model-1.



Gambar 10: Hasil pengujian dengan rintangan model-2 dan model-3
(a) Hasil pencarian target dengan rintangan model-2,
(b) Hasil pencarian target dengan rintangan model-3.

4. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan sistem, pengujian, dan pembahasan maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Adanya *move backward behavior* CLMR dapat menghindari rintangan saat *obstacle avoidance behavior* tidak dapat dilaksanakan dengan baik akibat jarak robot terhadap rintangan relatif dekat atau rintangan menyinggung lintasan yang dibentuk dengan sudut kemudi maksimum;
2. Besar sudut kemudi dan jarak diteksi sensor jarak terhadap rintangan mempengaruhi keberhasilan menghindari rintangan dengan menggunakan *obstacle avoidance behavior*;
3. Hasil eksperimen menunjukkan arsitektur yang diusulkan memungkinkan CLMR mencapai posisi relatif terhadap target dengan aman tanpa bertabrakan.

Referensi

[1] N. Ouadah, L. Ourak, & F. Boudjema, "Car-Like Mobile Robot Oriented Positioning by Fuzzy Controllers", *International Journal of Advanced Robotic System*, Vol.5, No.3, pp. 249-256, 2008.
[2] R.C. Arkin, "Behavior Based Robotics", *The MIT Press*, 1998.
[3] A. Adriansyah, "Pengendalian robot bergerak berbasis perilaku menggunakan particle swarm fuzzy controller", *Seminar Nasional Informatika 2008 (Semnas 2008) UPN "Vetran" Yogyakarta*, hal. 130-138, 2008.
[4] S. Duan, Y. Li, S. Chen, L. Chen, L. Zou, Zh. Ma, & J. Ding, "Study of Obstacle Avoidance Based on Fuzzy Planner for Wheeled Mobile Robot", *Proceeding of the 8th World Congress on Intelligent Control and Automation,* pp. 672-676, Teipei, 2011.

[5] T. Sutojo, E. Mulyanto, & V. Suhartono, "Kecerdasan Buatan", Yogyakarta: Andi, 2011.
[6] B. Quing-Yong, L. Shun-ming, S. Wei-Yan, & An Mu-Jin, "A Fuzzy Behavior-Based Architecture for Mobile Robot Navigation in Unknown Envirotments", *IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence*, 257-261, 2009.