

Analisis Kinerja Perilaku *Mobile Robot* Penghindar Halangan dengan Fungsi Keanggotaan Non Linear pada Kendali Logika *Fuzzy* Sugeno

Kanda Januar Miraswan
Faculty of Computer Science
Universitas Sriwijaya
Palembang, Indonesia
kandajm@ilkom.unsri.ac.id

Meylani Utari
Faculty of Computer Science
Universitas Sriwijaya
Palembang, Indonesia
meylani.utari@gmail.com

Abstract— *Mobile robot* banyak diaplikasikan pada berbagai aspek kehidupan. Navigasi robot merupakan salah satu sistem yang mampu melakukan navigasi yang terdiri dari aktivitas pergerakan seperti menghindari halangan (*obstacle avoidance*). Navigasi robot mencakup berbagai aktivitas yang saling terkait seperti aktuasi, persepsi dan eksplorasi. Penentuan navigasi yang baik menjadikan robot dapat melakukan eksplorasi yang bebas dari tabrakan dengan penghalang atau robot lain. Penelitian ini dikembangkan dengan menggunakan metode kendali logika *Fuzzy* dengan fungsi keanggotaan non linear, karena metode logika *Fuzzy* memiliki kemampuan untuk lebih merepresentasikan dunia nyata. Penelitian ini menghasilkan perancangan model kendali logika *Fuzzy* dan kemudian diterapkan pada suatu aplikasi perangkat lunak yang dapat mengendalikan robot hingga sukses menghindari halangan dengan baik dalam lingkungan *virtual* kompleks yang spesifik, dimana fungsi keanggotaan non linear dapat mengendalikan robot untuk menghindari halangan pada lingkungan *virtual* spesifik yang kompleks dengan lebih *smooth* dan lebih baik.

Keywords— *Mobile robot, Logika Fuzzy, Kendali Logika Fuzzy, Fungsi Keanggotaan Non Linear, Fuzzy logic controller.*

I. PENDAHULUAN

Mobile robot banyak diaplikasikan pada berbagai aspek kehidupan. Navigasi robot merupakan salah satu sistem yang mampu melakukan navigasi yang terdiri dari aktivitas pergerakan seperti menghindari halangan (*obstacle avoidance*). Navigasi robot mencakup berbagai aktivitas yang saling terkait seperti aktuasi, persepsi dan eksplorasi. Penentuan navigasi yang baik menjadikan robot dapat melakukan eksplorasi yang bebas dari tabrakan dengan penghalang atau robot lain. Terdapat beberapa tantangan yang dihadapi terkait *robot* dengan pendekatan penghindaran hambatan. Pertama, diperlukan metode penghindaran halangan yang tepat untuk menghindari tabrakan. Kedua, bagaimana untuk menghasilkan kendali yang lebih baik sehingga robot dapat menghindari halangan dengan lebih *smooth*.

Pada tantangan pertama, sensor harus bisa mendeteksi dan beradaptasi dengan lingkungan sehingga robot tidak kebingungan untuk melakukan aksi berdasarkan masukan banyak sensor. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan penalaran manusia dalam penghindaran halangan yang dapat diterapkan untuk menghadapi masalah tersebut. Pendekatan dengan logika *fuzzy* (*fuzzy logic*) dapat memfasilitasi ini[1][2]. Logika *fuzzy* dimulai pada tahun 1965 dalam paper yang disebut "*Fuzzy Sets*" oleh seorang peneliti bernama Lotfi Zadeh. Logika *fuzzy* adalah proses pengambilan keputusan berdasarkan aturan untuk memecahkan masalah

pada sistem yang sulit untuk dimodelkan, serta terdapat banyak ambiguitas atau ketidakjelasan antara dua nilai yang berbeda jauh (nilai tegas / *crisp value*).

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Logika Fuzzy

Konsep logika *fuzzy* dimulai pada tahun 1965 dalam paper yang disebut "*Fuzzy Sets*" oleh Lotfi Zadeh. Logika *fuzzy* adalah proses pengambilan keputusan berdasarkan aturan untuk memecahkan masalah pada sistem yang sulit untuk dimodelkan, dimana terdapat banyak ambiguitas atau ketidakjelasan antara dua nilai yang berbeda jauh. Logika *fuzzy* memungkinkan sistem didefinisikan dalam persamaan logika dan berasal dari sebuah pemikiran yang dapat mengenali dan mengambil keuntungan dari derajat keabuan antara dua nilai yang berbeda jauh. Sistem logika *fuzzy* terdiri dari *fuzzy subset* dan aturan *fuzzy*. *Fuzzy subset* mewakili berbagai himpunan bagian dari masukan dan keluaran variabel. Aturan *fuzzy* menghubungkan variabel masukan menjadi variabel keluaran melalui *subset*. Sistem ini dapat memproses dengan cepat dan efisien pada suatu himpunan aturan *fuzzy*. Logika *fuzzy* melibatkan fuzzifikasi, *fuzzy inference*, dan defuzzifikasi.

Proses fuzzifikasi mengkonversi nilai masukan *crisp* ke nilai *fuzzy*. *Fuzzy inference* bertugas untuk menarik kesimpulan dari basis pengetahuan yang telah ada. Proses defuzzifikasi mengubah tindakan kendali *fuzzy* ke tindakan kendali *crisp*.

B. Himpunan Fuzzy

Pada teori himpunan klasik, sebuah himpunan, C , terdiri atas elemen, $x \in U$, dimana nilai keanggotaan pada C dijelaskan berdasarkan karakteristik, atau fungsi keanggotaan.

$$\mu_C(x): U \rightarrow \{0, 1\} \quad (1)$$

Dimana U adalah semesta pembicaraan, sekumpulan elemen yang dapat berupa nilai kontinu atau diskrit. Fungsi keanggotaan $\mu_C(x)$ menyiratkan bahwa unsur x adalah anggota dari himpunan ($\mu_C(x) = 1$) atau ($\mu_C(x) = 0$). Dalam teori himpunan *fuzzy*, sebuah himpunan *fuzzy*, F , dijabarkan dalam fungsi keanggotaan

$$\mu_F(x): U \rightarrow [0, 1] \quad (2)$$

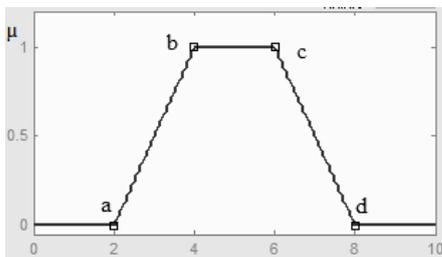
dimana elemen, $x \in U$, memiliki derajat fungsi keanggotaan pada F dengan nilai antara 0 hingga 1.

C. Fungsi Keanggotaan Fuzzy Linear dan Non Linear

Setiap elemen di semesta pembicaraan adalah anggota dari himpunan *fuzzy*. Fungsi yang berhubungan pada setiap elemen x dari semesta pembicaraan ini disebut fungsi keanggotaan $\mu(x)$. Fungsi keanggotaan dapat didefinisikan sebagai fungsi yang mengambil berbagai bentuk yang ditentukan oleh perancang sistem *fuzzy*. Bentuk fungsi keanggotaan linear yang umum digunakan adalah segitiga, dan trapesium. Bentuk fungsi keanggotaan non linear yang umum digunakan adalah kurva pertumbuhan, kurva penyusutan dan kurva lonceng. Kurva pertumbuhan dan penyusutan merupakan kurva S atau sigmoid yang berhubungan dengan kenaikan dan penurunan permukaan secara tak linear.

D. Fungsi Keanggotaan Trapesium

Fungsi keanggotaan trapesium dinyatakan dengan empat parameter a, b, c, d dimana $a < b < c < d$, ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Fungsi keanggotaan trapesium

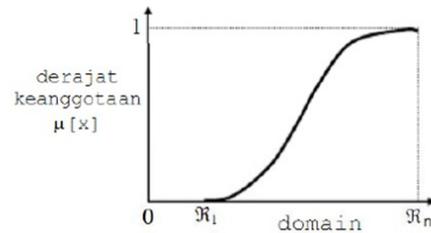
Parameter a, b, c, d menentukan koordinat sumbu x dari empat sudut fungsi keanggotaan trapesium. $\mu(x)$ dapat dinyatakan sebagai :

$$\mu(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a < x < b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ \frac{c-x}{c-d} & c < x < d \\ 0 & x \geq d \end{cases} \quad (3)$$

E. Fungsi Keanggotaan Kurva Pertumbuhan dan Penyusutan

Kurva Pertumbuhan dan Penyusutan merupakan kurva S atau sigmoid yang berhubungan dengan kenaikan dan penurunan permukaan secara tak linear. Kurva-S didefinisikan dengan menggunakan 3 parameter, yaitu: nilai keanggotaan nol (0), nilai keanggotaan lengkap (1), dan titik infleksi atau *crossover* (0.5) yaitu titik yang memiliki domain 50% benar. Kurva-S menggunakan 3 parameter, yaitu nilai keanggotaan nol (α), nilai keanggotaan lengkap (γ), dan titik infleksi atau *crossover* (β) yaitu titik yang memiliki domain 50% benar.

Kurva-S untuk Pertumbuhan akan bergerak dari sisi paling kiri (nilai keanggotaan = 0) ke sisi paling kanan (nilai keanggotaan = 1) ditunjukkan pada Gambar 2.

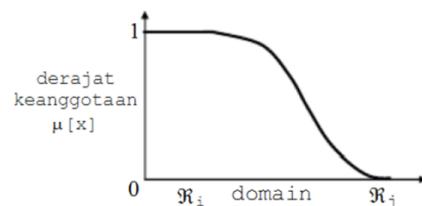


Gambar 2. Fungsi Keanggotaan Kurva Pertumbuhan

Fungsi keanggotaan pada kurva Pertumbuhan adalah :

$$S(x; \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0 \rightarrow x \leq \alpha \\ 2((x-\alpha)/(\gamma-\alpha))^2 \rightarrow \alpha \leq x \leq \beta \\ 1-2((\gamma-x)/(\gamma-\alpha))^2 \rightarrow \beta \leq x \leq \gamma \\ 1 \rightarrow x \geq \gamma \end{cases} \quad (4)$$

Kurva-S untuk Penyusutan akan bergerak dari sisi paling kiri (nilai keanggotaan = 1) ke sisi paling kanan (nilai keanggotaan = 0) ditunjukkan pada Gambar 3.



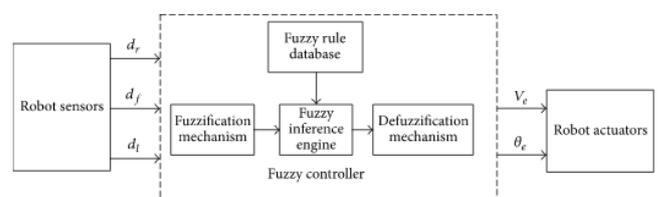
Gambar 3. Fungsi Keanggotaan Kurva Penyusutan

Fungsi keanggotaan pada kurva Penyusutan adalah :

$$S(x; \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 1 \rightarrow x \leq \alpha \\ 1-2((x-\alpha)/(\gamma-\alpha))^2 \rightarrow \alpha \leq x \leq \beta \\ 2((\gamma-x)/(\gamma-\alpha))^2 \rightarrow \beta \leq x \leq \gamma \\ 0 \rightarrow x \geq \gamma \end{cases} \quad (5)$$

F. Pengendali dengan Logika Fuzzy (Fuzzy logic controller / FLC)

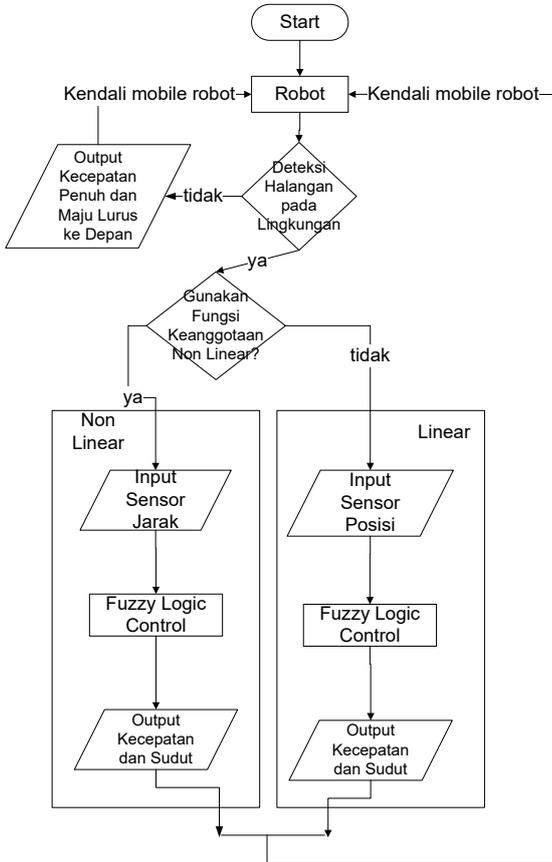
Pengendali berbasis logika *fuzzy* adalah sistem kendali pakar diberikan aturan-aturan tertentu. Pengolahan informasi yang *uncertain* yang menggunakan aturan yang berdasarkan *common-sense* dan menggunakan pernyataan-pernyataan *natural language* merupakan dasar untuk pengendali dengan logika *fuzzy*. Seperti yang dinyatakan oleh Lee[5][6], pengendali dengan logika *fuzzy* menyediakan cara untuk mengubah strategi kendali linguistik berdasarkan pengetahuan para pakar menjadi strategi kontrol otomatis ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur umum dari Fuzzy logic controller[7][8]

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini akan digunakan dua jenis fungsi keanggotaan, yaitu fungsi keanggotaan linear dan fungsi keanggotaan non linear, dimana pada akhir percobaan akan dilakukan analisis perbandingan kinerja antar kedua fungsi keanggotaan, ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur kendali Fuzzy logic controller

IV. DESAIN FUNGSI INPUT DAN OUTPUT PADA ROBOT PENGHINDAR HALANGAN

Pada bagian ini akan dibahas mengenai desain fungsi input dan output pada kendali robot, desain fungsi keanggotaan input dan output, serta desain FLC rule berdasarkan perilaku robot penghindar halangan.

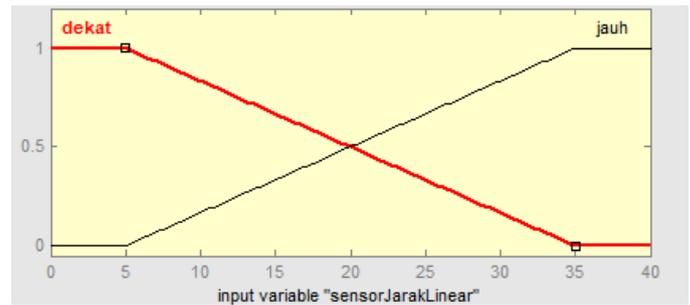
Input dari FLC yang dibangun adalah jarak sensor sedangkan output dari FLC yang dibangun adalah kecepatan robot dan navigasi arah perbelokan robot.

A. Desain Fungsi Keanggotaan Input FLC

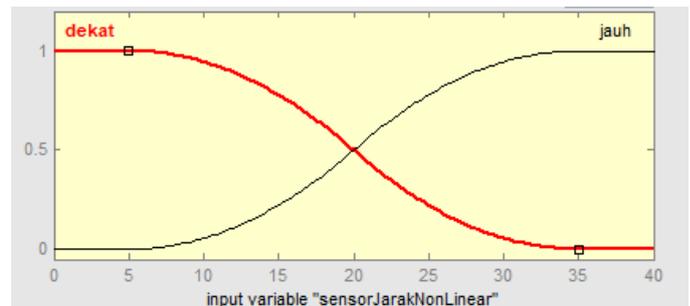
Input dari FLC yang dibangun terdiri dari tiga sensor jarak pendeteksi halangan, yaitu sensor yang diletakkan di kiri robot, di depan robot dan di kanan robot. Linguistik yang digunakan dalam ketiga sensor jarak adalah *dekat* dan *jauh*, dimana jarak maksimum yang bisa dideteksi oleh sensor adalah 40 unit pixel.

Terdapat dua jenis fungsi keanggotaan yang digunakan pada sistem ini, yaitu fungsi keanggotaan linear dan non

linear. Fungsi keanggotaan x atau $\mu(x)$ untuk setiap linguistik dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Fungsi keanggotaan sensor linear



Gambar 7. Fungsi keanggotaan sensor non linear

B. Desain Rule FLC Penghindar Halangan

Desain rule dalam FLC menentukan hasil perilaku dari output robot berdasarkan input yang diterima oleh robot. Pada penelitian ini, rule yang digunakan pada FLC dapat dilihat pada Tabel 1

TABEL I. RULE YANG DIGUNAKAN PADA FLC

Input Sensor			Output	
Kiri	Tengah	Kanan	Kecepatan	Belokan
Dekat	Dekat	Dekat	Lambat	Kiri
Dekat	Dekat	Jauh	Lambat	Kanan
Dekat	Jauh	Dekat	Lambat	Kanan
Dekat	Jauh	Jauh	Sedang	Kanan
Jauh	Dekat	Dekat	Sedang	Kiri
Jauh	Dekat	Jauh	Sedang	Kanan
Jauh	Jauh	Dekat	Lambat	Kiri
Jauh	Jauh	Jauh	Cepat	Lurus

C. Desain Output FLC

Output dari FLC menggunakan metode inferensi Sugeno, dimana linguistic dibentuk sebagai singleton dan digunakan bobot untuk setiap linguistiknya. Bobot yang digunakan pada output kecepatan adalah sebagai berikut:

Lambat	= 1
Sedang	= 4
Cepat	= 5

Bobot yang digunakan untuk *output* perbelokan adalah sebagai berikut:

- Belok Kiri = -15°
- Lurus = 0°
- Belok Kanan = 15°

V. IMPLEMENTASI DAN HASIL

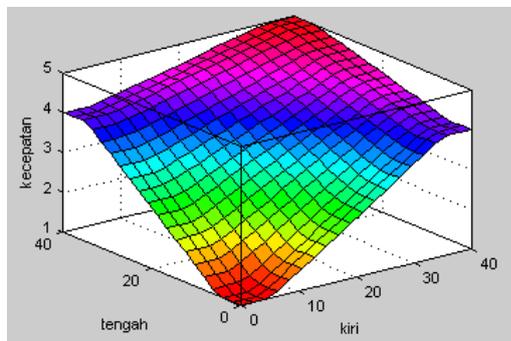
Hasil penelitian ini berupa perangkat lunak simulasi untuk mensimulasikan robot yang dapat menghindari rintangan pada lingkungan yang spesifik.

Hasil kinerja dari kendali penghindar halangan adalah berupa *surface*, lintasan gerak robot, serta *output* kecepatan dan perbelokan robot. Sebagai robot yang disimulasikan di lingkungannya, dilakukan perbandingan kinerja antara *FLC* yang menggunakan fungsi keanggotaan linear dengan *FLC* yang menggunakan fungsi keanggotaan non linear.

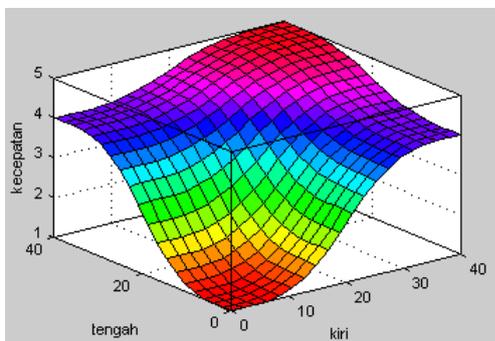
A. Output Surface dari FLC

Kinerja *Surface* didapatkan berdasarkan *output surface* untuk kendali *FLC*, dengan memplot dua variabel *input* terhadap satu variabel *output*.

Plotting *input* jarak terhadap *output* kecepatan untuk fungsi keanggotaan linear ditunjukkan pada Gambar 8 dan untuk fungsi keanggotaan non linear ditunjukkan pada Gambar 9.

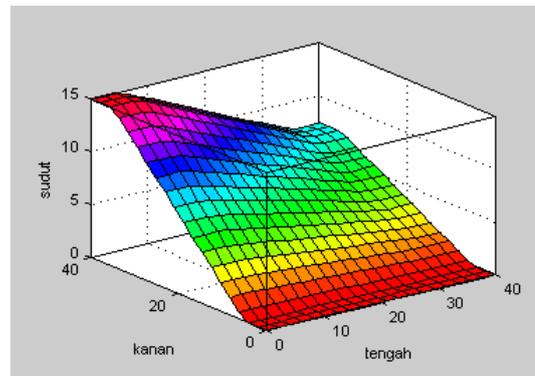


Gambar 8. Surface dari *input* sensor jarak terhadap *output* kecepatan untuk fungsi keanggotaan linear

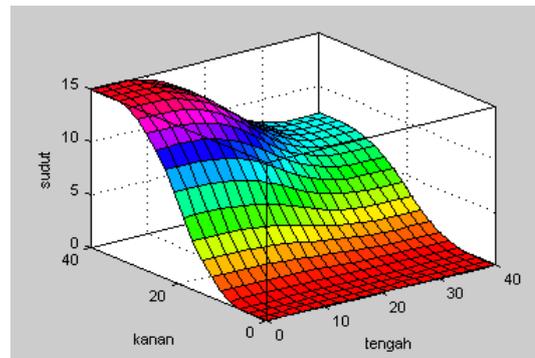


Gambar 9. Surface dari *input* sensor jarak terhadap *output* kecepatan untuk fungsi keanggotaan non linear

Plotting *input* jarak terhadap *output* perbelokan robot untuk fungsi keanggotaan linear ditunjukkan pada Gambar 10 dan untuk fungsi keanggotaan non linear ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 10. Surface dari *input* sensor jarak terhadap *output* perbelokan robot untuk fungsi keanggotaan linear

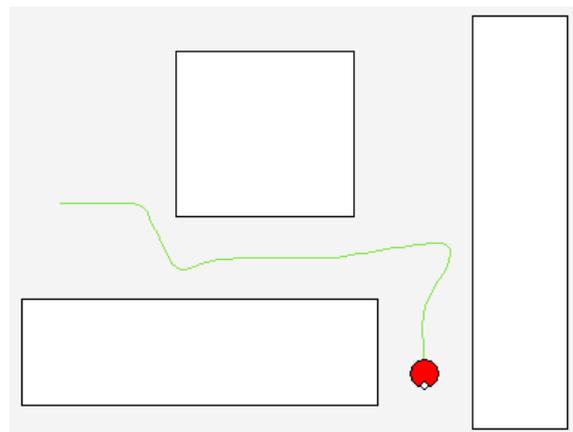


Gambar 11. Surface dari *input* sensor jarak terhadap *output* perbelokan robot untuk fungsi keanggotaan non linear

Berdasarkan hasil *surface* untuk fungsi keanggotaan linear dan non linear, dapat dilihat bahwa kinerja *output surface* untuk fungsi keanggotaan non linear lebih dinamis dibandingkan dengan fungsi keanggotaan non linear. Hasil *output surface* yang lebih dinamis dapat menghasilkan pergerakan robot yang lebih *smooth*.

B. Pengujian Simulasi Robot Menghindari Halangan

Simulasi dilakukan dengan mengatur robot menghadap arah tertentu dengan beberapa halangan yang sudah ditetapkan sebelumnya. Robot kemudian dijalankan selama beberapa waktu tertentu, untuk selanjutnya dapat dilihat kinerja robot dalam menghindari halangan yang ada di lingkungan tersebut. Kondisi akhir simulasi robot dengan fungsi keanggotaan ditunjukkan pada Gambar 12.

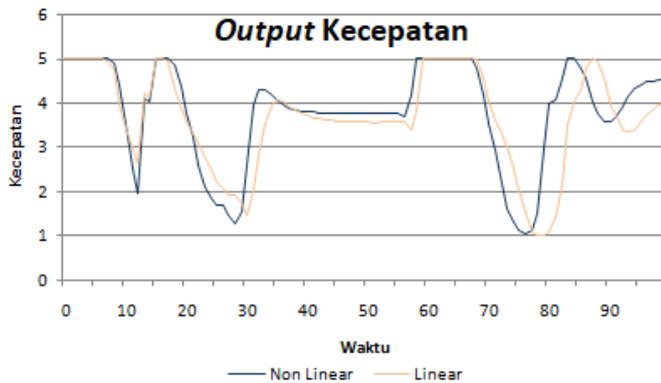


Gambar 12. Kondisi akhir simulasi robot

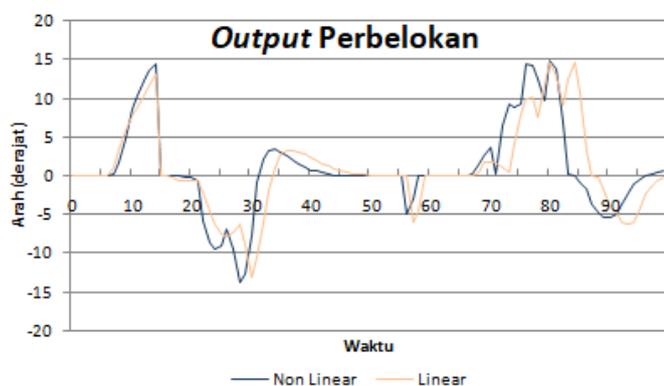
Dari hasil akhir kedua simulasi didapatkan hasil bahwa robot tersebut mampu untuk menghindari halangan dengan baik. Pada hasil akhir simulasi dengan fungsi keanggotaan non linear, robot tersebut melaju lebih jauh jika dibandingkan terhadap hasil akhir simulasi robot dengan fungsi keanggotaan linear, walaupun kedua simulasi dijalankan dengan durasi yang sama. Berdasarkan perbandingan tersebut dapat disimpulkan bahwa kinerja robot dengan fungsi keanggotaan non linear dapat berjalan lebih cepat dan lebih baik dalam menghindari halangan, jika dibandingkan dengan kinerja robot dengan fungsi keanggotaan linear.

C. Pengujian Kinerja Output Kendali FLC

Pada bagian ini dilakukan evaluasi *output* kecepatan dan perbelokan kemudi dari kontrol FLC dengan fungsi keanggotaan linear dan kontrol FLC dengan fungsi keanggotaan non linear. Data kecepatan dan perbelokan dihasilkan dengan mencatat *output* untuk setiap langkah pada dua simulasi yang telah dilakukan sebelumnya. Hasil pengujian *output* kecepatan pada simulasi ditunjukkan pada Gambar 13. Sedangkan hasil pengujian *output* perbelokan pada simulasi ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 13. Grafik *output* kecepatan dari simulasi



Gambar 14. Grafik *output* perbelokan dari simulasi

Pada Gambar 13 dapat dilihat untuk *output* kecepatan dengan kendali fungsi keanggotaan non linear, menghasilkan nilai penurunan kecepatan yang lebih baik dalam menghindari halangan, jika dibandingkan dengan kendali fungsi keanggotaan linear.

Pada Gambar 14 dapat dilihat untuk *output* perbelokan dengan kendali fungsi keanggotaan non linear, menghasilkan nilai perbelokan derajat arah yang lebih tinggi untuk berbelok kanan maupun berbelok kiri dalam menghindari halangan, jika dibandingkan dengan kendali fungsi keanggotaan linear.

Dari kedua hasil grafik diatas, kendali dengan fungsi keanggotaan non linear menghasilkan nilai *output* kendali yang lebih tinggi sehingga dapat memberikan respon menghindari halangan dengan lebih baik dan berjalan lebih cepat dibandingkan dengan kendali fungsi keanggotaan linear.

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang dilakukan dengan menghasilkan *output surface*, membandingkan kinerja masing-masing kontrol berdasarkan simulasi, serta menganalisis grafik *output* kecepatan dan perbelokan berdasarkan tingkat *output* pada simulasi lingkungan tidak terstruktur, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil *output surface* untuk fungsi keanggotaan non linear lebih dinamis dibandingkan dengan fungsi keanggotaan non linear, sehingga dapat menghasilkan pergerakan robot yang lebih *smooth*.
2. Hasil simulasi dalam lingkungan spesifik dengan fungsi keanggotaan non linear, robot melaju lebih jauh jika dibandingkan terhadap hasil akhir simulasi robot dengan fungsi keanggotaan linear untuk durasi waktu yang sama.
3. Kendali dengan fungsi keanggotaan non linear menghasilkan nilai *output* kecepatan dan perbelokan yang lebih tinggi sehingga dapat memberikan respon menghindari halangan dengan lebih baik dan berjalan lebih cepat dibandingkan dengan kendali fungsi keanggotaan linear.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M.G. Voskoglou, "Fuzzy logic in Human Reasoning," Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, 2013.
- [2] H. Boubertakh, M. Tadjine, and P. Glouennec, "A Simple Goal Seeking Navigation Method for a Mobile Robot Using Human Sense, Fuzzy logic and Reinforcement Learning," Journal Of Automatic Control, University Of Belgrade, pp. 23-27, 2008.
- [3] J. Harris, *Fuzzy logic Applications in Engineering Science*. Netherland: Springer Verlag, 2006.
- [4] B. Siciliano and O. Khatib, *Springer Handbook of Robotics*.: Springer, 2008.
- [5] C.C. Lee, "Fuzzy logic in Control Systems : Fuzzy logic controller - Part I," IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1990.
- [6] S. Ozdemir, O. Kaplan, I. Sefa, and N. Altin, "Fuzzy PI controlled inverter for grid interactive renewable energy systems," IET Renewable Power Generation, 2015.
- [7] C.H. Chen, C.C. Wang, Y.T. Wang, and P.T. Wang, "Fuzzy logic controller Design for Intelligent Robots," Mathematical Problems in Engineering, 2017.
- [8] G. Chen and T.T. Pham, *Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy logic, and Fuzzy Control Systems*. New York: CRC Press, 2001.