

# Perbandingan Kinerja Sistem Logika Fuzzy Tipe-1 dan Interval Tipe-2 pada Aplikasi Mobile Robot

**Andry Meylani**

Jurusan Teknik Elektro  
Program Studi Teknik  
Telekomunikasi  
Politeknik Negeri Sriwijaya  
Palembang, Sumatera Selatan  
a.meylani22@yahoo.com

**Ade Silvia Handayani**

Jurusan Teknik Elektro  
Program Studi Teknik  
Telekomunikasi  
Politeknik Negeri Sriwijaya  
Palembang, Sumatera Selatan  
ade\_silvia@polsri.ac.id

**Ciksadan**

Jurusan Teknik Elektro  
Program Studi Teknik  
Telekomunikasi  
Politeknik Negeri Sriwijaya  
Palembang, Sumatera Selatan  
ciks\_sadan@yahoo.com

**Abstract**— This paper presents differences of type-1 with interval type-2 fuzzy logic systems. T1FLS contains three main processes which are fuzzifier, inference engine, and defuzzifier. Whereas in IT2FLS has five contains which are fuzzifier, inference engine, type-reduction, and defuzzifier. The significant difference is on type-reduction, which makes more complex than T1FLS. Each advantages and disadvantages also affect to efficiency and performance of Fuzzy Logic Systems.

**Keyword** : T1FLS; IT2FLS; control; mobile robot

## I. PENDAHULUAN

Pada dekade terakhir, penggunaan system fuzzy dalam berbagai aplikasi teknik telah merubah cara konvensional menjadi sebuah sistem pengambilan keputusan dan sistem pakar dengan penalaran yang kuat dengan jumlah aturan yang terbatas. Aplikasi teknik yang mengimplementasikan system logika fuzzy diberbagai bidang, seperti pemodelan and kendali [1][2], teknik prediksi time series [3][4] and data mining [5].

Prof. Lotfi Zadeh pertama kali memperkenalkan sistem logika fuzzy untuk memproses data dan informasi yang dipengaruhi oleh ketidakpastian suatu keputusan [6] [7] [8][9]. [10]. Hal ini merupakan metodologi yang memadai untuk merancang pengendali yang kuat yang mampu memberikan kinerja memuaskan dalam menghadapi ketidakpastian dan ketidaktepatan [2][11][12][13][14]. Sistem logika fuzzy mengubah suatu ilmu dasar menjadi sebuah formula matematis yang terbukti sangat efisien dalam berbagai penerapan, dan baru-baru ini menarik banyak perhatian para peneliti dan berhasil diimplementasikan ke dalam dunia nyata [15].

Keunggulan logika fuzzy pada awalnya dikembangkan untuk model istilah linguistik, interpretasi, dan persepsi manusia, sebagian besar implementasi sistem logika fuzzy (FLS) telah di kontrol aplikasi [16]. Sampai sekarang sistem sistem logika fuzzy (FLS) telah diimplementasikan dengan sukses besar di banyak aplikasi dunia nyata dan juga

telah ditampilkan di beberapa kasus mengungguli sistem kontrol tradisional [17].

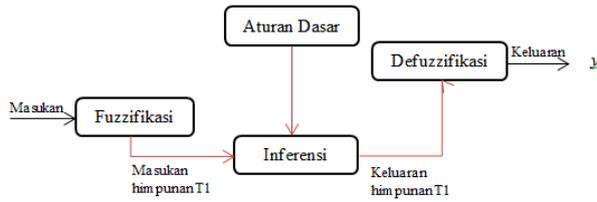
Sistem logika fuzzy tipe-1 (T1FLS) adalah tipe yang banyak digunakan. Akan tetapi, T1FLS hanya bisa menangani tingkat ketidakpastian yang terbatas, sedangkan di dalam pengaplikasian sering dihadapkan pada banyak sumber dengan tingkat ketidakpastian yang tinggi [17] [18]. Hal tersebut merupakan masalah utama sehingga T1FLS tidak dapat sepenuhnya menangani atau mengakomodasi ketidakpastian linguistik dan numerik yang terkait dengan perubahan dan lingkungan yang tidak terstruktur [19].

Namun, hal tersebut menjadi dasar terciptanya interval sistem logika fuzzy tipe-2 (IT2FLS). Baru-baru ini, IT2FLS telah menarik perhatian para peneliti dan sangat berguna ketika mengalami hambatan dalam menentukan fungsi keanggotaan yang tepat, atau dalam memodelkan beragam pendapat dari individu yang berbeda. Karena memiliki formasi yang lebih kompleks, IT2FLS dianggap berpotensi lebih baik untuk memodelkan suatu ketidakpastian [20][21].

Type-2 Fuzzy Logic System (T2FLS) merupakan teknik komputasi lunak/soft computing (SC) dalam menangani masalah ketidakpastian, dan ketidaktepatan dalam mencapai solusi biaya yang kuat dan rendah [22][23]. Tetapi dalam penggunaannya sistem ini sulit untuk diaplikasikan pada swarm robot, karena membutuhkan biaya komputasi yang tinggi.

Objektivitas pada paper ini adalah memberikan studi komparatif dari sistem logika fuzzy tipe-1 dan interval tipe-2, pada aplikasi robot swarm.

## II. SISTEM LOGIKA FUZZY TERVAL TYPE 1 (T1FLS)



Gambar 1. Sistem Logika Fuzzy Tipe-1

T1FLS terdiri dari tiga proses utama yaitu fuzzifikasi, pengambilan keputusan (inferensi), dan defuzzifikasi. Pada himpunan T1FLS, elemennya memiliki nilai derajat keanggotaan sehingga nilai pada himpunan tidak sepenuhnya benar atau salah. Derajat keanggotaan ini mengambil nilai pada interval antara 0 - 1. Himpunan A pada semesta X didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$$

dimana  $\mu_A$  mewakili fungsi keanggotaan.

A. Fuzzifikasi

Proses pemetaan nilai tegas dari masukan menjadi himpunan fuzzy menggunakan fungsi keanggotaan. Nilai masukan dipetakan ke dalam derajat keanggotaan dengan menggunakan fungsi berikut :

TABLE I. FUNGSI KENGGOTAAN T1FLS

Fun gsi Kea ngg otaa n	Pernyataan Matematis	Ilustrasi
Seg itig a	$(x; a, b, c) \begin{cases} 0, x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, b < x \leq c \\ 0, c < x \end{cases}$	
Tra pesi um	$(x; a, b, c, d) \begin{cases} 0, x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, a < x \leq b \\ 1, b < x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, c < x \leq d \\ 0, d < x \end{cases}$	

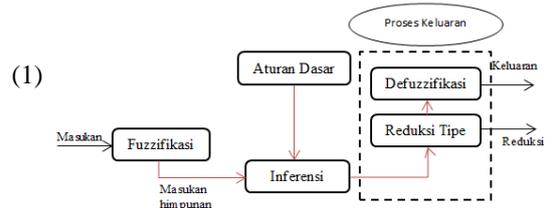
B. Inferensi

Inferensi merupakan sistem pengambilan keputusan pada konsep logika fuzzy. Dimana derajat keanggotaan yang dihasilkan dari proses sebelumnya digabungkan berdasarkan aturan tertentu. Kemudian, kaidah-kaidah yang aktif dipotongkan ke himpunan kesimpulan.

C. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi didefinisikan sebagai suatu proses yang mengubah nilai himpunan kesimpulan menjadi nilai tegas yang akan menjadi hasil keluaran T1FLS. Teknik defuzzifikasi yang paling banyak digunakan adalah teknik defuzzifikasi centroid. Teknik ini bertujuan untuk mencari titik tengah dari grafitasi dari area consequent yang dihasilkan pada proses penalaran. Pusat gravitasi adalah titik dimana apabila daerah tersebut dibagi dua berdasarkan titik itu, hasil pembagiannya memiliki luasan yang sama.

III. SISTEM LOGIKA FUZZY TERVAL TYPE 2 (IT2FLS)



Gambar 2. Sistem Logika Fuzzy Interval Tipe-2

Sistem Logika Fuzzy Interval Tipe-2 (IT2FLS) terdiri dari empat proses utama yakni fuzzifikasi, pengambilan keputusan (inferensi), reduksi, dan defuzzifikasi. Struktur tersebut hampir sama dengan sturuktur T1FLS. Yang menjadi perbedaan adalah setelah mendapatkan hasil dari keluaran inferensi, dilanjutkan dengan mereduksi untuk mengubah himpunan dari IT2FLS menjadi himpunan T1FLS. Sehingga, T1FLS terdefuzzifikasi menjadi nilai tegas pada keluaran IT2FLS. [11]

Nilai ketidakpastian pada IT2FLS tidak hanya mendapatkan sebuah nilai tegas sebagai titik akhir dari fungsi keanggotaan, tetapi juga mendapatkan nilai lainnya yang memungkinkan untuk mewakili nilai linguistik

IT2FLS dilambangkan sebagai  $\tilde{A}$ , sedangkan derajat keanggotaan x dalam  $\tilde{A}$ , dilambangkan sebagai  $\mu_{\tilde{A}}(x)$ . Dan dapat disimpulkan sebagai:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \int f_x(u)/u, u \in j \subseteq [0,1] \quad (2)$$

Dimana (x) adalah variable primer dengan domain Z,  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  adalah nilai keanggotaan dari x, lalu  $f_x(u)$  merupakan variable sekunder dari masing-masing berat u. u adalah variable sekunder, di mana variabel  $J_x$  onpada masing-masing  $x \in X$ ,  $J_x$  merupakan variable primer pada x.

Fuzzifikasi merupakan proses memetakan besaran tegas menjadi nilai keanggotaan pada himpunan IT2FLS yang menghasilkan batas-batas dari LMF dan UMF. UMF and LMF merupakan himpunan fuzzy yang berada tepat pada nilai-nilai tertinggi dan terendah dari FOU (Footprint of Uncertainties). Sehingga, derajat keanggotaan dari x pada himpunan fuzzy interval tipe II AI dilambangkan sebagai

$$\mu_{A^1}(x) = \int_{a \in [\underline{\mu}_{A^1}(x), \bar{\mu}_{A^1}(x)]} 1/a$$

ATURAN DASAR

Aturan dasar pada IT2FLS sama dengan T1FLC, tetapi namun *antecedent* dan *consequent* akan ditunjukkan oleh himpunan IT2FLS. Sistem logika fuzzy memiliki masukan  $p \ x_1 \in X_1, \dots, x_p \in X_p$  dan keluaran  $c \ y_1 \in Y_1, \dots, y_c \in Y_c$ . Dalam aturan dasar *multiple-input-multiple-output* (MIMO) ini dapat ditulis sebagai [9]

$$R_{MIMO}^1 : IF x_1 \text{ is } \tilde{X}_1^n \text{ and...and } x_p \text{ is } \tilde{X}_p^n \text{ THEN } y_1 \text{ is } \tilde{Y}^n$$

Dimana  $\tilde{X}_1^n \ (i=1,2,\dots,I; n=1,2,\dots,N)$  adalah IT2FLS dan  $\tilde{Y}^n = [\underline{y}^n, \bar{y}^n]$  merupakan interval.

INFERENSI

Pada proses ini sama dengan proses inferensi pada T1FLS, di mana nilai *antecedent* yang didapatkan dari proses sebelumnya digunakan untuk pengambilan keputusan. Perbedaannya, tingkat keanggotaan pada UMF dan LMF memiliki dua nilai yang dihasilkan. Hubungan input atau output dengan himpunan T1FLS yang mengaktifkan satu aturan pada inferensi dan keluaran pada inferensi tersebut. Oleh karena itu hasil dari operasi tersebut adalah :

$$F^n(x') = \left[ \mu_{\underline{X}_1^n}(x'_1) \times \dots \times \mu_{\underline{X}_p^n}(x'_p), \mu_{\bar{X}_1^n}(x'_1) \times \dots \times \mu_{\bar{X}_p^n}(x'_p) \right] \equiv \left[ \underline{f}^n, \bar{f}^n \right] \quad (7)$$

REDUKSI TIPE

Proses ini merupakan proses yang khusus dimiliki IT2FLS. Reduksi tipe ini diperkenalkan oleh Karnik and Mendel [11][12]. Disebut sebagai reduksi karena pada proses ini membawa kita dari himpunan fuzzy keluaran tipe-2 yang dihasilkan oleh inferensi menjadi himpunan fuzzy tipe-1. Himpunan reduksi tipe kemudian defuzzifikasikan untuk mendapatkan hasil yang akan dikirimkan ke robot swarm. [6]

DEFUZZIFIKASI

Dari tahapan reduksi, dari mendapatkan hasil keluaran himpunan reduksi yang dihasilkan oleh titik yang paling kiri  $y_l$  dan titik yang paling kanan  $y_r$ . Proses defuzzifikasi menggunakan hasil rata-rata dari  $y_l$  dan  $y_r$ , atau dapat dihitung sebagai :

$$y(x) = \frac{y_l + y_r}{2}$$

IX(3) PERBEDAAN ANTARA SISTEM LOGIKA FUZZY TIPE-1 DAN INTERVAL TIPE-2

Begitu perbedaan mendasarnya jelas, maka selanjutnya dapat lebih memahami kelebihanannya. Dalam literatur, ada banyak usaha untuk menjawab pertanyaan yang menantang dan mendasar ini.

Sistem logika fuzzy merupakan salah satu teknik komputasi lunak yang memungkinkan untuk menyelesaikan masalah ketidakpastian [24]. Type-1 Fuzzy Logic System (T1FLS) menjanjikan teknik dalam menangani masalah pergerakan mobile robot yang berisi informasi pasti dan tidak lengkap [25]. Tetapi T1FLS dalam menangani ketidakpastian linguistik dengan pemodelan ketidakjelasan sulit untuk dilakukan [26].

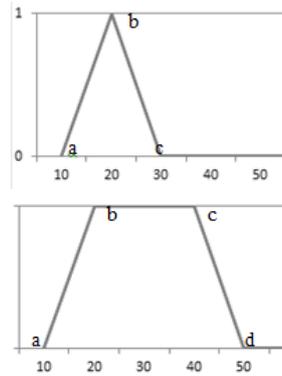
Type 2 Fuzzy Logic System (T2FLS) memiliki sistem kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan Tipe-1 Fuzzy Logic (T1FLS) [13]. Dalam penyelesaian masalah ketidakpastian, penggunaan Type-2 Fuzzy Logic System (IT2FS), telah digunakan pada pemodelan ketidakpastian dalam menyelesaikan masalah yang kompleks serta mampu meningkatkan akurasi [15][27].

Penggunaan Type-2 Fuzzy Logic System, dengan kerangka umum menangani ketidakpastian linguistik dengan pemodelan ketidakjelasan [28]. Pada IT2FLS, pengurangan biaya komputasi merupakan hal yang sangat penting [29], dimana kompleksitas dalam controller tergantung pada jenis-reduksi [30] dan tahapan defuzzifikasi [31][32]. Dengan demikian dalam pengembangan strategi untuk meningkatkan kinerja dengan mengurangi beban komputasi maka diperlukan penerapan dua tahap tersebut.

TABLE II. PERBEDAAN ANTARA SISTEM LOGIKA FUZZY TIPE-1 DAN INTERVAL TIPE-2

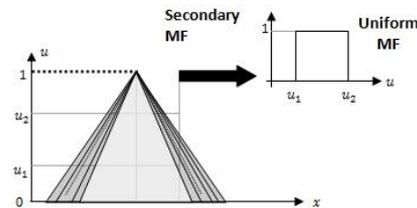
T1FLS	IT2FLS
<b>Proses</b>	
1. Fuzzifikasi	1. Fuzzifikasi
2. Rule Base	2. Rule Base
3. Inferensi	3. Inferensi
4. Defuzzifikasi	4. Tipe Reduksi
	5. Defuzzifikasi
<b>Fuzzifikasi</b>	
Nilai masukan $x=(x_1, \dots, x_p)$	
<b>Fungsi Keanggotaan</b>	
(8)	$\mu_{\tilde{A}}(x) = \int_u f_x(u)/u, \ u \in J \subseteq [0,1]$ $\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J} \frac{\mu_{\tilde{A}}(x,u)}{(x,u)}, \ J \subseteq [0,1]$
<b>Aturan Dasar</b>	

$R^1_{MIMO} : \text{IF } X_1 \text{ is } F^i_1, \dots, \text{ and } X_p \text{ is } F^i_p \text{ THEN } y_1 \text{ is } G^i_1, \dots, \text{ and } y_e \text{ is } G^i_e$	
<b>Proses Keluaran</b>	
	Menggunakan reduksi untuk menyederhanakan sebuah IT2FLS menjadi T1FLS, kemudian menghitung jumlah keluaran di defuzzifikasi
$y = \frac{y_l + y_r}{2}$	
<b>KEUNTUNGAN</b>	
Struktur yang Sederhana	Mampu menangani ketidakpastian
<b>KERUGIAN</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tidak memiliki ketahanan terhadap gangguan</li> <li>- Ketidakpastian linguistic dengan pemodelan ketidakjelasan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Komputasi / perhitungan kompleks</li> <li>- Sulit untuk diimplementasikan secara matematis</li> </ul>



Gambar 3 Fungsi Keanggotaan Segitiga dan Trapesium pada T1FLS

Fungsi keanggotaan T1FLS dengan IT2FLS sangat berbeda. Fungsi keanggotaan pada T1FLS memiliki variable primer dan sekunder. Derajat keanggotaan sekunder menambahkan suatu dimensi pada IT2FLS menjadi 3 dimensi fungsi keanggotaan seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Fungsi keanggotaan dari IT2FLS

V. ANALISIS

A. Proses

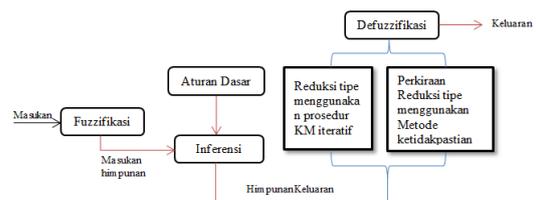
T1FLS terdiri dari tiga proses utama, yaitu fuzzifikasi, pengambilan keputusan (inferensi), dan defuzzifikasi. Sedangkan pada IT2FLS memiliki empat proses utama, yaitu fuzzifikasi, inferensi, reduksi tipe, dan defuzzifikasi. Perbedaan yang sangat signifikan terdapat pada IT2FLS yang memiliki titik awal dan titik akhir lebih dari satu. Masukan  $x$  memiliki beberapa derajat keanggotaan berbeda yang berasal dari fungsi keanggotaan yang berbeda pula dan hal tersebut disebut sebagai reduksi tipe. Reduksi tipe digunakan untuk mereduksi himpunan IT2FLS menjadi himpunan T1FLS, itu berarti bahwa komputasi dari IT2FLS lebih kompleks dibandingkan dengan T1FLS.

B. Fungsi Keanggotaan

T1FLS memiliki dua jenis fungsi keanggotaan yang ditunjukkan oleh Gambar 3

C. Reduksi tipe dan Defuzzifikasi

Sebelum mendapatkan hasil akhir terdapat 2 tahapan terakhir yakni proses reduksi dan defuzzifikasi. Proses reduksi merupakan proses yang bertujuan untuk mengubah himpunan IT2FLS yang dihasilkan oleh proses sebelumnya menjadi himpunan T1FLS lalu hasilnya akan diproses ke defuzzifikasi menjadi nilai tegas yang merupakan hasil akhir atau keluaran dari IT2FLS. Proses tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Tipe Reduksi pada IT2FLS

Setelah proses reduksi, dilanjutkan ke proses defuzzifikasi yang akan menghasilkan keluaran. T1FLS mengubah hasil dari proses sebelumnya untuk

menghasilkan nilai tegas dari suatu himpunan tereduksi yang dapat dihitung dengan merata-rata nilai paling kanan dan paling kiri dari himpunan tereduksi.

## VI. KESIMPULAN

Masing-masing tipe tentu saja memiliki kelebihan dan kekurangan yang berpengaruh pada keefektifan dan perfoma dari sistem logika fuzzy. Salah satunya, T1FLS memiliki struktur matematis yang sederhana, sedangkan pada IT2FLS sebaliknya. Akan tetapi, perbedaan pada perhitungan kompleks tersebut mampu menangani ketidakpastian yang tidak terselesaikan sebelumnya. T1FLS tidak memiliki kemampuan untuk menangani tingkat ketidakpastian yang kompleks seperti yang dimiliki IT2FLS. Perbedaan tersebut sangatlah jelas, mengingatkan pada IT2FLS terdapat proses reduksi untuk memperoleh hasil dari nilai ketidakpastian tersebut.

Apabila dilihat dari analisa yang didapat, jika IT2FLS digunakan untuk mewakili input dan output kontrol akan menghasilkan reduksi pada aturan dasar. Jika dibandingkan dengan menggunakan T1FLS, kemampuan yang terdapat pada FOU untuk mewakili banyak ketidakpastian yang memungkinkan seseorang untuk menutupi domain masukan dan keluaran dengan sistem fuzzy yang lebih sedikit. Hal ini memberikan kemudahan dalam membangun aturan dasar menggunakan pengetahuan yang hebat serta dapat meningkatkan ketahanan.

IT2FLS memberikan permukaan kontrol yang lebih halus (*smooth*) daripada T1FLS, khususnya pada daerah yang stabil. Kemampuan dalam menyesuaikan tempat yang baru dimiliki oleh IT2FLS. Hal ini dikarenakan aturan kontrol pada IT2FLS pada masing-masing daerah kecil lebih kompleks daripada T1FLS. Oleh karena itu, hal tersebut dapat mewujudkan hubungan antara masukan dan keluaran yang lebih kompleks yang tidak dicapai oleh T1FLS dengan menggunakan aturan dasar yang sama.

Selain itu, kemampuan dalam menemukan hal yang baru juga dimiliki oleh IT2FLS. Perbedaan pada tingkat keanggotaan dari IT2FLS yang sama dapat digunakan pada aturan yang berbeda. Sedangkan pada T1FLS, aturan yang berbeda hanya dapat menggunakan persamaan pada tingkat keanggotaan dari T1FLS. Hal ini menunjukkan bahwa IT2FLS lebih dapat diimplementasikan daripada T1FLS dengan menggunakan aturan dasar yang sama.

Dari semua perbedaan yang telah dipaparkan, menunjukkan bahwa IT2FLS lebih kompleks dan lebih baik dalam mengimplementasikan logika fuzzy pada aplikasi mobile robot.

## VII. DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Hashemi, M. Ghaffari, and N. Ghaffari, "Model-based PI - fuzzy control of four-wheeled omni-directional mobile robots a b," *Rob. Auton. Syst.*, vol. 59, no. 11, pp. 930–942, 2011.
- [2] S. Nurmaini and B. Tutuko, "Pattern Recognition Approach for Formation Control for Swarm Robotics Using Fuzzy-Kohonen Networks," no. August, pp. 19–20, 2015.
- [3] J. Aladi, C. Wagner, and J. Garibaldi, "Type-1 or Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems-On the Relationship of the Amount of Uncertainty and FOU Size," *Fuzzy Syst. (FUZZ-IEEE), IEEE Int. Conf.*, pp. 1–8, 2014.
- [4] P. Dostál, "Forecasting of Time Series with Fuzzy Logic," *Adv. Intell. Syst. Comput.*, vol. 210, pp. 155–161, 2013.
- [5] D. Wu and J. M. Mendel, "Linguistic summarization using IFTHEN rules and interval Type-2 fuzzy sets," *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 19, no. 1, pp. 136–151, 2011.
- [6] H. A. Hagrass, "A Hierarchical Type-2 Fuzzy Logic Control Architecture for Autonomous Mobile Robots," vol. 12, no. 4, pp. 524–539, 2004.
- [7] L. A. Zadeh, "Soft Computing and Fuzzy Logic," *IEEE Trans. Softw. Eng.*, vol. 11, no. 6, pp. 48–56, 1994.
- [8] B. Lei and H. Chen, "Internet and Distributed Computing Systems," vol. 9864, pp. 458–465, 2016.
- [9] A. Taskin and T. Kumbasar, "An Open Source Matlab/Simulink Toolbox for Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems," *2015 IEEE Symp. Ser. Comput. Intell.*, pp. 1561–1568, 2015.
- [10] J. R. Castro, O. Castillo, and L. G. Martínez, "Interval Type-2 Fuzzy Logic Toolbox," *Eng. Lett.*, vol. 15, no. August, pp. 1–10, 2007.
- [11] H. Hassani and J. Zarei, "Interval Type-2 fuzzy logic controller design for the speed control of DC motors," *Syst. Sci. Control Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 266–273, 2015.
- [12] X. Li and B. Choi, "Design of Obstacle Avoidance System for Mobile Robot using Fuzzy Logic Systems," vol. 7, no. 3, pp. 321–328, 2014.
- [13] O. Castillo, L. Amador-Angulo, J. R. Castro, and M. Garcia-Valdez, "A comparative study of type-1 fuzzy logic systems, interval type-2 fuzzy logic systems and generalized type-2 fuzzy logic systems in control problems," *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 354, pp. 257–274, 2016.
- [14] L. a. Zadeh, "Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic," *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 90, no. 2, pp. 111–127, 1997.
- [15] M. A. Sanchez, O. Castillo, and J. R. Castro, "Generalized Type-2 Fuzzy Systems for controlling a mobile robot and a performance comparison with Interval Type-2 and Type-1 Fuzzy Systems," *Expert Syst. Appl.*, vol. 42, no. 14, pp. 5904–5914, 2015.
- [16] D. Wu, J. M. Mendel, and L. Fellow, "Linguistic Summarization Using IF – THEN Rules and Interval Type-2 Fuzzy Sets," vol. 19, no. 1, pp. 136–151, 2011.
- [17] P. Melin and O. Castillo, "Review article A review on type-2 fuzzy logic applications in clustering , classification and pattern recognition," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 21, pp. 568–577, 2014.
- [18] M. M. Aditya, A. B. Insani, J. Al Kausar, and A. Silvia, "Sistem Kendali Fuzzy pada Mobile Robot ANNUAL RESEARCH SEMINAR 2016," vol. 2, no. 1, pp. 231–234, 2016.
- [19] M. Faisal, R. Hedjar, M. Al Sulaiman, and K. Al-Mutib, "Fuzzy logic navigation and obstacle avoidance by a mobile robot in an unknown dynamic environment," *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, vol. 10, 2013.
- [20] Z. T. Allawi, "An Optimized Interval Type-2 Fuzzy Logic Control Scheme based on Optimal Defuzzification," vol. 95, no. 13, pp. 26–31, 2014.
- [21] Y. Chang, C. Chen, W. Chan, H. Lin, and C. Chang, "Fuzzy

- Formation Control and Collision Avoidance for Multiagent Systems,” vol. 2013, 2013.
- [22] J. M. Mendel and R. I. B. John, “Type-2 fuzzy sets made simple,” *Fuzzy Syst. IEEE Trans.*, vol. 10, no. 2, pp. 117–127, 2002.
- [23] D. W. D. Wu and W. W. T. W. W. Tan, “Computationally Efficient Type-Reduction Strategies for a Type-2 Fuzzy Logic Controller,” *14th IEEE Int. Conf. Fuzzy Syst. 2005. FUZZ '05.*, pp. 353–358, 2005.
- [24] M. Algabri, H. Mathkour, H. Ramdane, and M. Alsulaiman, “Comparative study of soft computing techniques for mobile robot navigation in an unknown environment,” *Comput. Human Behav.*, vol. 50, pp. 42–56, 2015.
- [25] V. P. Martinez, “Development of cooperative behavioral patterns for Swarm robotic scenarios Two main goals.”
- [26] O. Castillo and P. Melin, “INTELLIGENT SYSTEMS WITH INTERVAL TYPE-2 FUZZY LOGIC,” *Inf. Control*, 2008.
- [27] J. T. Starczewski, “Efficient triangular type-2 fuzzy logic systems,” *Int. J. Approx. Reason.*, vol. 50, no. 5, pp. 799–811, 2009.
- [28] C. Wagner and H. Hagnas, “Evolving Type-2 Fuzzy Logic Controllers for Autonomous Mobile Robots,” *Anal. Des. Intell. Syst. using Soft Comput. Tech.*, vol. 41, pp. 16–25, 2007.
- [29] R. Sepulveda, O. Castillo, P. Melin, a. Rodriguez-Diaz, and O. Montiel, “Handling Uncertainty in Controllers Using Type-2 Fuzzy Logic,” *14th IEEE Int. Conf. Fuzzy Syst. 2005. FUZZ '05.*, pp. 237–262, 2005.
- [30] D. Wu and M. Nie, “Comparison and practical implementation of type-reduction algorithms for type-2 fuzzy sets and systems,” *2011 IEEE Int. Conf. Fuzzy Syst. (FUZZ-IEEE 2011)*, no. 6, pp. 2131–2138, 2011.
- [31] R. John, J. Mendel, and J. Carter, “The extended sup-star composition for type-2 fuzzy sets made simple,” *IEEE Int. Conf. Fuzzy Syst.*, pp. 1441–1445, 2006.
- [32] K. Duran, H. Bernal, and M. Melgarejo, “Improved iterative algorithm for computing the generalized centroid of an interval type-2 fuzzy set,” *NAFIPS 2008 - 2008 Annu. Meet. North Am. Fuzzy Inf. Process. Soc.*, pp. 1–5, 2008.
- [32] Ade Silvia, Tresna Dewi, Nyayu L.H, Siti Nurmaini, Irsyadi Yani, "Target Tracking in Mobile Robot under Uncertain Environment using Fuzzy Logic Controller," 4th EECISI, 2017