

Perbandingan *Type-1 Fuzzy Logic System (T1FLS)* dan *Interval Type-2 Fuzzy Logic System (IT2FLS)* pada *Mobile Robot*

Jefri Al-Kausar

Teknik Elektro

Prodi D4Teknik Telekomunikasi
Politeknik Negeri Sriwijaya
Palembang, Indonesia
jefrialkausar@yahoo.com

Ade Silvia Handayani

Teknik Elektro

Prodi D4Teknik Telekomunikasi
Politeknik Negeri Sriwijaya
Palembang, Indonesia
ade_silvia@polsri.ac.id

Sarjana

Teknik Elektro

Prodi Teknik Telekomunikasi
Politeknik Negeri Sriwijaya
Palembang, Indonesia
anna.sarjana@gmail.com

Abstrak—Pada Paper ini menyajikan perbedaan antara *Type-1 Fuzzy Logic System (T1FLS)* dan *Interval Type-2 Fuzzy Logic System (IT2FLS)*. T1FLS memiliki tiga proses utama, yaitu fuzzifikasi, inferensi / *Rule Base*, dan defuzzifikasi. Sedangkan, pada IT2FLS memiliki lima proses utama, yaitu fuzzifikasi, inferensi / *Rule Base*, tipe-reduksi, dan defuzzifikasi. Perbedaan yang terlihat jelas dapat dilihat pada tipe-reduksi, yang membuatnya lebih kompleks daripada T1FLS. Setiap keuntungan dan kekurangan juga mempengaruhi terhadap efisiensi dan kemampuan dari *Fuzzy Logic Systems* sendiri.

Kata Kunci : T1FLS, IT2FLS, Navigasi, Mobile Robot

I. PENDAHULUAN

Teknologi yang berkembang pesat sekarang ini membuat berbagai kemajuan pada bagian teknologi, terutama teknologi pada bidang robotika. Teknologi yang berkembang pada bidang robotika ini menjadi sorotan serius dalam kurun waktu terakhir. Hal ini terjadi karena peran robot saat ini dapat digunakan sebagai pengganti pekerjaan manusia, terkhusus nya pekerjaan manusia pada ruang lingkup yang berbahaya, seperti menjelajahi daerah yang terkontaminasi oleh radiasi nuklir, penjelajahan daerah yang belum terjamah, dan sebagai pengintai pada operasi militer [1].

Bidang robotika yang menjadi sorotan didalam dunia penelitian terutama nya pada bidang robot cerdas dan robot bergerak. *Mobile Robot* atau robot bergerak dapat diartikan sebagai perangkat elektronik-komputer, dan disusun sehingga menjadi suatu sistem yang dapat meraba lalu menerjemahkan lingkungan sekitarnya menggunakan sensor-sensor yang terdapat pada robot bergerak tersebut. Mempunyai kemampuan untuk menganalisa situasi lingkungan yang teraba dan dapat melakukan

pergerakan dalam menghadapi situasi pada lingkungannya [2]. Sebagian model robot bergerak telah dikembangkan dan mempunyai kemampuan navigasi tertentu.

Sistem navigasi adalah sebuah metode untuk menentukan pergerakan yang akan diambil robot pada lingkungan yang ada. Navigasi pintar diaplikasikan pada robot bergerak, agar robot dapat membuat keputusan pergerakan robot dengan menggunakan logika fuzzy [3], [4].

Sistem logika fuzzy diperkenalkan pertama kali nya oleh Prof. Lotfi Zadeh untuk memproses informasi dan data yang memiliki nilai ketidakpastian pada suatu keputusan[5], [6]. Hal ini adalah metodologi yang memumpuni untuk mendesain pengendali yang bisa memberikan kinerja memuaskan dalam menyelesaikan permasalahan ketidakpastian dan ketidaktepatan [7], [8]. Sistem logika fuzzy membuat formula matematis dari sebuah ilmu dasar yang telah terbukti secara efisien dalam berbagai pengimplementasian, dan saat ini menarik perhatian dari banyak peneliti dan berhasil diaplikasikan kedalam dunia nyata [9].

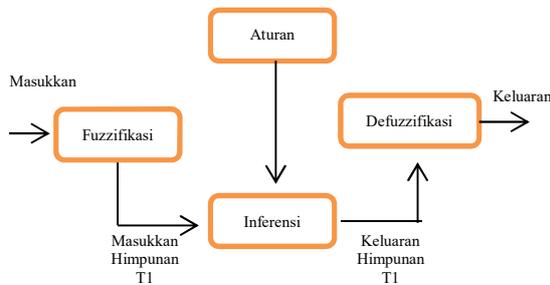
Type-1 Fuzzy Logic System (T1FLS) adalah tipe yang paling sering digunakan. Namun, T1FLS hanya dapat mengatasi tingkat ketidakpastian yang terbatas, sedangkan pada saat pengaplikasiannya cukup banyak sumber dengan tingkat ketidakpastian yang tinggi [10], [11]. Tetapi, hal ini menjadi landasan terciptanya *Interval Type-2 Fuzzy Logic System (IT2FLS)*.

Interval Type-2 Fuzzy Logic System (IT2FLS) adalah sebuah teknik *Soft Computing (SC)* untuk mengatasi sebuah permasalahan ketidakpastian, dan ketidaktepatan untuk mendapatkan nilai yang lebih kuat [12], [13]. Tetapi pada pengimplementasian sistem logika ini sulit untuk diaplikasikan pada mobile

robot, karena membutuhkan waktu perhitungan yang cukup lama dan biaya komputasi yang tinggi.

Tujuan utama dari paper ini untuk melakukan studi komparatif pada sistem logika fuzzy tipe-1 dengan sistem logika fuzzy tipe-2 pada mobile robot.

II. TYPE-1 FUZZY LOGIC SYSTEM (T1FLS)



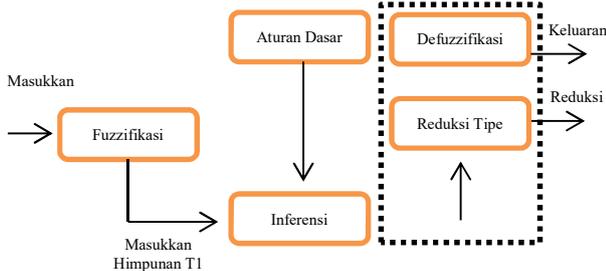
Gambar 1. Type-1 Fuzzy Logic System (T1FLS)

Pada T1FLS terdapat 3 proses utama yang dilakukan, yaitu fuzzifikasi, pengambilan keputusan (inferensi) / *Rule Base*, dan defuzzifikasi. Pada himpunan T1FLS, elemen – elemennya mempunyai nilai derajat keanggotaan, sehingga nilai yang terdapat pada himpunan tidak sepenuhnya benar ataupun salah. Derajat keanggotaan ini mengambil nilai diantara nilai pasti 0 dan 1, sehingga nilai yang diambil adalah interval antara 0 dan 1. Himpunan A pada universal X didefinisikan sebagai berikut :

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

dimana μ_A mewakili fungsi keanggotaan.

III. INTERVAL TYPE-2 FUZZY LOGIC SYSTEM (IT2FLS)



Gambar 2. Interval Type-2 Fuzzy Logic System (IT2FLS)

Interval Type-2 Fuzzy Logic System (IT2FLS) terdiri dari empat proses utama, yaitu fuzzifikasi, pengambilan keputusan (inferensi) / *Rule Base*, Reduksi, dan yang terakhir Defuzzifikasi. Diagram yang terdapat pada IT2FLS hampir sama dengan diagram T1FLS, tetapi yang membedakan kedua sistem logika ini adalah ketika setelah mendapatkan hasil yang dikeluarkan oleh inferensi, dilanjutkan dengan melakukan reduksi untuk mengubah himpunan yang terdapat pada IT2FLS

menjadi himpunan T1FLS, sehingga hasil T1FLS yang terdefuzzifikasi menjadi nilai kuat yang terdapat pada keluaran yang dilakukan pada IT2FLS[7].

Nilai ketidakpastian pada IT2FLS bukan hanya mendapatkan nilai kuat sebagai titik akhir dari fungsi keanggotaan, tetapi pada IT2FLS juga mendapatkan nilai lain yang mungkin dapat digunakan untuk mewakili nilai linguistic.

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

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

Dengan nilai (x) sebagai variabel primer dengan domain Z , dan nilai $\mu_{\tilde{A}}(x)$ adalah nilai keanggotaan dari x , lalu nilai f_x adalah nilai variable sekunder dari masing-masing berat u , dan nilai u adalah variabel sekunder, yang dimana variable J_x pada gambar merupakan variabel primer pada x .

IV. PROSES UTAMA SISTEM LOGIKA

A. Fuzzifikasi

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

Tabel 1. FUNGSI KEANGGOTAAN

Fungsi Keanggotaan	Pernyataan Matematis	Ilustrasi
Segitiga	$(x; a, b, c)$	
Trapezium	$(x; a, b, c, d)$	

Pada IT2FLS fuzzifikasi adalah proses memetakan besaran tegas menjadi nilai keanggotaan pada himpunan IT2FLS dan menghasilkan batas

dari LMF dan UMF. UMF dan LMF adalah himpunan fuzzy yang ada pada nilai-nilai tertinggi dan terendah dari FOU (Footprint of Uncertainties). Sehingga, derajat keanggotaan pada x yang terdapat pada himpunan IT2FLS dilambangkan sebagai

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

B. Inferensi / Rule Base

Inferensi adalah suatu sistem pengambilan keputusan yang terdapat pada konsep logika fuzzy. Derajat keanggotaan yang didapatkan pada proses sebelumnya, lalu digabungkan berdasarkan aturan tertentu yang telah ditentukan. Setelahnya, kaidah-kaidah yang aktif yang diambil dipotongkan dan dimasukkan ke himpunan kesimpulan.

Pada IT2FLS prosesnya sama dengan proses T1FLS, dimana nilai *antecedent* yang telah didapatkan pada proses sebelumnya digunakan untuk pengambilan keputusan. Perbedaannya adalah tingkat keanggotaan pada UMF dan LMF terdapat dua nilai yang dihasilkan. Kemudian hubungan masukkan dan keluaran dengan himpunan T1FLS yang mengaktifkan satu aturan pada inferensi dan keluaran pada inferensi tersebut. Maka dari itu, hasil dari operasi IT2FLS adalah :

$$F^n(x') = [\mu_{x_1'}(x_1') \times \dots \times \mu_{x_n'}(x_n'), \mu_{x_1'}(x_1') \times \dots \times \mu_{x_n'}(x_n')] \equiv [\underline{f}^n, \bar{f}^n]$$

C. Reduksi Tipe

Pada proses utama sistem logika, proses ini merupakan proses yang khusus hanya dimiliki IT2FLS dan tidak dimiliki oleh T1FLS. Karnik dan Mendel adalah orang yang memperkenalkan reduksi tipe [7], [8]. Proses ini disebut sebagai reduksi dikarenakan di proses ini, kita dibawa dari himpunan keluaran fuzzy tipe-2 yang telah didapatkan menjadi himpunan fuzzy tipe-1. Himpunan reduksi ini kemudian di defuzzifikasikan untuk mendapatkan hasil yang kemudian akan dikirimkan ke robot bergerak [5].

D. Defuzzifikasi

Pada T1FLS defuzzifikasi dapat diartikan sebagai proses yang mengubah nilai himpunan kesimpulan menjadi nilai tegas yang kemudian menjadi hasil keluaran T1FLS.

Pada IT2FLS, dari tahapan reduksi sebelumnya, akan didapatkan hasil keluaran himpunan reduksi yang dihasilkan oleh titik yang terletak di bagian paling kiri (yl) dan titik yang terletak di bagian paling kanan (yr). Proses ini pada IT2FLS menggunakan hasil rata-rata yang dihasilkan dari nilai yl dan yr , atau dapat juga dihitung sebagai :

$$y(x) = \frac{yl+yr}{2}$$

V. PERBEDAAN TYPE-1 FUZZY LOGIC SYSTEM (T1FLS) DAN INTERVAL TYPE-2 FUZZY LOGIC SYSTEM (IT2FLS)

Teknik komputasi lunak sistem logika fuzzy yang memungkinkan untuk menyelesaikan permasalahan ketidakpastian [14]. *Type-1 Fuzzy Logic System* (T1FLS) digunakan sebagai teknik dalam menangani masalah untuk pergerakan robot bergerak yang mempunyai isi informasi pasti dan tidak lengkap. Meskipun begitu, T1FLS dalam menangani ketidakpastian linguistic dengan pemodelan ketidakjelasan sukar untuk dilakukan [15].

Interval Type-2 Fuzzy Logic (IT2FLS) mempunyai kinerja yang lebih baik jika dibandingkan dengan T1FLS [16]. Ketika menyelesaikan permasalahan ketidakpastian, IT2FLS telah digunakan, sistem logika IT2FLS juga telah digunakan pada pemodelan ketidakpastian untuk menyelesaikan masalah yang kompleks dan juga mampu untuk meningkatkan akurasi dari hasil keluaran [9], [17].

IT2FLS dengan kerangka umum. Penggunaannya dapat untuk menangani ketidakpastian linguistic dengan pemodelan ketidakjelasan [18]. Pada IT2FLS, pengurangan biaya komputasi adalah hal yang sangat penting, dimana kompleksitas pada penggerak tergantung pada jenis-reduksi dan tahapan defuzzifikasi. Maka demikian dalam pengembangan strategi untuk peningkatan kinerja dengan cara mengurangi beban komputasi, maka diperlukan penerapan dua tahap tersebut.

Tabel 2. Perbedaan Antara T1FLS dan IT2FLS

T1FLS	IT2FLS
Proses	
1. Fuzzifikasi	1. Fuzzifikasi
2. Inferensi / Rule Base	2. Inferensi / Rule Base
3. Defuzzifikasi	3. Tipe Reduksi
	4. Defuzzifikasi
Fuzzifikasi	
Nilai masukan $x=(x_1 \dots p)$	
Fungsi Keanggotaan	
Aturan Dasar	
Proses Keluaran	

	Penyederhanaan IT2FLS menjadi T1FLS menggunakan reduksi, kemudian jumlah keluaran dihitung dan dilakukan defuzzifikasi.
$y(x) = \frac{y_l + y_r}{2}$	
Keuntungan	
Struktur yang lebih simple dan sederhana	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mampu menangani ketidakpastian 2. Nilai defuzzifikasi yang lebih akurat dan lebih <i>smooth</i>
Kerugian	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Ketahanan terhadap gangguan tidak ada 2. Ketidakpastian linguistic dengan pemodelan ketidakjelasan 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Komputasi / perhitungan untuk mendapatkan hasil defuzzifikasi yg lebih kompleks. 2. Sulit untuk diimplementasikan secara matematis

VI. KESIMPULAN

Baik T1FLS ataupun IT2FLS mempunyai kelebihan dan kekurangannya masing-masing, dan masing-masing berpengaruh pada keefektifan dan performa dari sistem logika fuzzy tersebut. Seperti T1FLS memiliki struktur matematis yang lebih sederhana dan simple, tetapi pada IT2FLS sebaliknya. Meskipun seperti itu, perbedaan pada perhitungan yang kompleks pada IT2FLS mampu untuk menutupi kekurangan dari hasil T1FLS ketidakpastian yang tidak terselesaikan sebelumnya. Pada T1FLS tidak memiliki kemampuan untuk menangani tingkat ketidakpastian yang kompleks yang seperti yang terdapat pada IT2FLS. Perbedaan tersebut dapat terlihat dengan jelas, mengingat pada IT2FLS terdapat proses reduksi untuk memperoleh hasil ketidakpastian tersebut.

Perhitungan dari IT2FLS memberikan kontrol permukaan yang lebih halus (*smooth*) daripada T1FLS, khususnya daerah fuzzy yang lebih stabil pada interval 0 dan 1. Kemampuan untuk menyesuaikan tempat yang baru dipunyai oleh IT2FLS pada masing-masing daerah kecil lebih kompleks daripada T1FLS.

Setelah semua pemaparan tentang perbedaan T1FLS dan IT2FLS, menunjukkan bahwa IT2FLS perhitungannya lebih kompleks, meskipun begitu lebih baik dalam pengimplementasian sistem logika fuzzy pada pengaplikasian robot bergerak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Chaimowicz and V. Kumar, "Aerial Shepherds: Coordination among UAVs and Swarms of Robots," *Proc. 7th Int. Symp. Distrib. Auton. Robot. Syst.*, pp. 231–240, 2004.
- [2] Roland, Siegart, Illah, and R., "'Autonomous Mobile Robots,' Technology," 2004.
- [3] S. Nurmaini, S. Zaiton, and D. Norhayati, "An embedded interval type-2 neuro-fuzzy controller for mobile robot navigation," *Conf. Proc. - IEEE Int. Conf. Syst. Man Cybern.*, no. October, pp. 4315–4321, 2009.
- [4] Y. H. Chang, C. L. Chen, W. S. Chan, H. W. Lin, and C. W. Chang, "Fuzzy formation control and collision avoidance for multiagent systems," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2013, 2013.
- [5] H. Hagrass, "A Hierarchical Type-2 Fuzzy Logic Control Architecture for Autonomous Mobile Robots," *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 12, no. 4, pp. 524–539, 2004.
- [6] L. A. Zadeh, "The roles of soft computing and fuzzy logic in the conception, design and deployment of intelligent systems," *Proc. 6th Int. Fuzzy Syst. Conf.*, vol. 1, p. 1.
- [7] 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.
- [8] X. Li and B. J. Choi, "Design of obstacle avoidance system for mobile robot using fuzzy logic systems," *Int. J. Smart Home*, vol. 7, no. 3, pp. 321–328, 2013.
- [9] 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.
- [10] P. Melin and O. Castillo, "A review on type-2 fuzzy logic applications in clustering, classification and pattern recognition," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 21, pp. 568–577, 2014.
- [11] 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.
- [12] J. M. Mendel, R. I. John, and F. Liu, “Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems Made Simple,” *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 14, no. 6, pp. 808–821, 2006.
- [13] Dongrui Wu and Woei Wan 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.
- [14] 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.
- [15] O. Castillo and E. P. Melin, “Intelligent systems with interval type-2 fuzzy logic,” *Int. J. Innov. Comput. Inf. Control*, vol. 4, no. 4, pp. 771–783, 2008.
- [16] 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.
- [17] J. T. Starczewski, “Efficient triangular type-2 fuzzy logic systems,” *Int. J. Approx. Reason.*, vol. 50, no. 5, pp. 799–811, 2009.
- [18] C. Wagner and H. Hagra, “A genetic algorithm based architecture for evolving type-2 fuzzy logic controllers for real world autonomous mobile robots,” *IEEE Int. Conf. Fuzzy Syst.*, 2007.