

Implementasi Algoritma *Fuzzy* Tipe-2 Untuk Penentuan Kriteria Kota Berdasarkan Standar *Smart City*

M.Nabil Fahd Alfachruddin¹, Fachrul Kurniawan², Yunifa Miftachul Arif³

Abstract— City is a role model which represents the advancement of technology and the existence of prosperity. An improvement of technology should be used as a key to manage city's prosperity. Many standards used to measure the value of city's prosperity. One of that standards is smart city standard. It used factors which define city's prosperity, hence it needs a key factor that allows the standard to produce a crisp result from the available factors. There are 6 key variables of city's prosperity of smart city standard, they are smart governance, smart mobility, smart people, smart economy, smart environment dan smart mobility. Type-2 fuzzy algorithm is used to determine city prosperity' grade using smart city standard. The algorithm is implemented in a game of Malang city's miniature which named after Malang Urban. In this research several in-game experiments are made to get values that meet a specified rules. The values consist 73,33% of not ready category, 6, 67% of standard category, and 20% of good smart category of all in-game attempts.

Index Terms— general type-2 fuzzy logic system; serious game; smart city.

Abstrak— Kota adalah tempat yang menjadi tolok ukur kemajuan teknologi dan kesejahteraannya. Teknologi yang berkembang digunakan untuk menopang kesejahteraan kota tersebut. Untuk mengukurnya digunakan standar – standar yang dapat menilai kota tersebut. Salah satu standar penilaian kesejahteraan kota tersebut adalah smart city. Di dalamnya terdapat faktor – faktor penentu kesejahteraan kota, sehingga dibutuhkan sebuah penentu yang dapat menghasilkan hasil kongkret dari faktor – faktor penentu yang ada. Terdapat 6 variabel penentu kesejahteraan kota dengan standar smart city, yaitu smart governance, smart mobility, smart people, smart economy, smart environment dan smart mobility. Dalam mendapatkan kriteria kesejahteraan kota menggunakan standar smart city digunakan algoritma fuzzy tipe-2 untuk menentukan tingkat kesejahteraan kota. Pada penelitian ini dilakukan penerapan algoritma

tersebut dalam bentuk game miniatur kota Malang yang disebut Malang Urban. Dalam penelitian ini dilakukan beberapa percobaan di dalam game untuk mendapatkan nilai yang sesuai dengan kaidah yang telah ditentukan sehingga didapatkan hasil nilai smart city dengan kriteria not ready sebesar 73,33%, standard sebesar 6,67% dan good smart sebesar 20% dari nilai – nilai yang diperoleh dari percobaan di dalam game.

Kata Kunci— general type-2 fuzzy logic system; serious game; smart city.

I. PENDAHULUAN

KOTA ialah kawasan yang memenuhi berbagai kriteria dalam berbagai aspek. Mayoritas penduduk di area ini bekerja di bidang perdagangan, jasa, dan industri. Sarana di daerah ini terbilang lengkap, dengan adanya fasilitas kesehatan, pendidikan, perdagangan, hiburan, dan lain-lain [1].

Kota merupakan wilayah dalam sebuah negara yang dijadikan perbandingan dalam segi kualitasnya. Oleh karena itu, sebuah kota diharapkan bisa menjadi contoh dalam hal kemajuan teknologi dan kesejahteraan masyarakatnya. Peningkatan kualitas dari kedua hal tersebut dapat membuat sebuah kota mampu untuk terus berkembang dalam segi kualitas.

Tingkat kesejahteraan merupakan tolok ukur dari bagus tidaknya sebuah kota. Untuk mengukurnya dibutuhkan standar yang memang berfungsi untuk menghitungnya. Pada penelitian ini digunakan standar smart city untuk menentukan tingkat kesejahteraan sebuah kota. Pada standar smart city terdapat beberapa variabel – variabel yang mewakili unsur – unsur yang terdapat dalam sebuah kota.

Pada penelitian ini algoritma fuzzy tipe-2 digunakan untuk mendapatkan klasifikasi smart city yang digunakan sebagai patokan dari tingkat kesejahteraan kota. Algoritma ini digunakan untuk mengolah variabel – variabel dari standar smart city sehingga didapatkan kriteria kesejahteraan kota yang sesuai dengan keadaan kota tersebut.

II. LANDASAN TEORI

Setelah algoritma *fuzzy* tipe-2 ditemukan oleh Zadeh pada [2], terdapat beberapa penelitian yang di dalamnya

M. Nabil Fahd Alfachruddin is with the Informatic Engineering Departement of Maulana Malik Ibrahim Islamic State University , Malang, Indonesia (corresponding author provide email civilsociety2011@gmail.com)

Fachrul Kurniawan is with Informatic Engineering Departement of Maulana Malik Ibrahim Islamic State University, Malang, Indonesia.

Yunifa Miftachul Arif is with Informatic Engineering Departement of Maulana Malik Ibrahim Islamic State University, Malang, Indonesia.

menerapkan algoritma *fuzzy* tipe-2. Misal, pada [3] dilakukan penerapan algoritma *fuzzy* tipe-2 *general* untuk mendapatkan garis latar dan garis tepi dari sebuah citra. Algoritma *fuzzy* tipe-2 diterapkan dengan cara mendeteksi tingkat gradien warna untuk membedakan warna latar dan warna tepi dari sebuah obyek pada gambar. Hasil yang diperoleh adalah algoritma ini berhasil untuk mendeteksi tepi obyek pada sebuah gambar dengan baik pada gambar dengan noise ataupun tidak dengan 3 format warna berbeda.

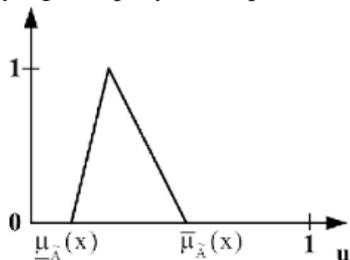
Tidak hanya pada citra, algoritma *fuzzy* tipe-2 juga mampu diterapkan pada perangkat keras. Pada penelitian [4]–[6] dilakukan penerapan algoritma *fuzzy* tipe-2 pada perangkat keras. Wen, dkk [4], telah menerapkan algoritma *fuzzy* tipe-2 untuk mengatur sinyal pada pengendali lampu lalu lintas adaptif. Pada [5], penerapan algoritma *fuzzy* tipe-2 dilakukan pada penentuan jalur robot. Sedangkan pada [6], penerapan dilakukan pada motor servo dc. Penerapan algoritma *fuzzy* tipe-2 pada ketiga penelitian tersebut terbukti mampu menghasilkan keputusan yang baik.

Penelitian [7] berisi penerapan standar *smart city* menggunakan algoritma *fuzzy* tipe-1 (*fuzzy* biasa). Di dalamnya dilakukan pengelompokan kota berdasarkan kriteria *smart city* menggunakan *fuzzy* tipe-1. Hasil yang diperoleh yaitu pengelompokan kota berdasarkan standar *smart city* berhasil dilakukan.

Konsep *fuzzy* tipe-2 ditemukan pada [2]. Secara umum himpunan *fuzzy* tipe 2 berbentuk :

$$\tilde{A} = \{(x, u), \mu_{\tilde{A}}(x, u) \mid \forall x \in X, \forall u \in Jx \subseteq [0, 1], \mu_{\tilde{A}}(x, u) \subseteq [0, 1]\}. \quad (1)$$

Setelah itu ditemukan beberapa cara untuk menerapkan konsep tersebut, yang paling populer adalah *fuzzy* tipe-2 *general* dan interval. Pada tipe interval, derajat keanggotaan kedua bernilai 1 atau 0, sedangkan pada tipe *general*, derajat keanggotaan kedua bernilai *fuzzy*. Derajat keanggotaan kedua mengacu pada fungsi keanggotaan tertentu (biasanya segitiga atau trapesium) yang mempunyai nilai pada interval [0, 1]



Gambar 1. Derajat keanggotaan kedua himpunan *fuzzy* tipe-2 *general*

Ketidakpastian pada himpunan *fuzzy* tipe-2 dinyatakan dengan wilayah yang dibatasi [3]. oleh karena itu, bagian 2D (x, u) dari $\mu_{\tilde{A}}(x, u)$ disebut Footprint Of Uncertainty (FOU) dari \tilde{A} dan dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\text{FOU}(\tilde{A}) = \{(x, u) \in X \times [0, 1] \mid \mu_{\tilde{A}}(x, u) > 0\}. \quad (2)$$

FOU dibatasi dengan batas atas (Upper Membership Function) dan batas bawah (Lower Membership Function) yang biasa disebut dengan UMF dan LMF [8]. UMF dan LMF dapat dinyatakan dengan persamaan berikut [9]:

$$\bar{X} \equiv \overline{\text{FOU}}(\tilde{A}) \mid \forall x \in X. \quad (3)$$

$$\underline{X} \equiv \underline{\text{FOU}}(\tilde{A}) \mid \forall x \in X. \quad (4)$$

Smart City adalah kota berkinerja baik yang dibangun berdasarkan kombinasi langkah cerdas dan kegiatan penentuan nasib sendiri, warga negara yang mandiri dan sadar [10].

Mengacu pada penelitian [7]. Terdapat 6 variabel penentu smart city yaitu :

- Smart Governance, mengacu pada pelayanan kota terhadap masyarakat secara umum.
- Smart Economy, mengacu pada fasilitas yang menunjang ekonomi kota.
- Smart Mobility, mengacu pada fasilitas transportasi kota.
- Smart People, mengacu pada fasilitas peningkatan kualitas pribadi masyarakat.
- Smart Living, mengacu pada fasilitas peningkatan kualitas hidup masyarakat.
- Smart Life/Environment, mengacu pada fasilitas pemberdayaan lingkungan.

Variabel – variabel diatas disebut *smart features* yang menjadi variabel penentu tingkat sebuah kota terhadap standar smart city.

III. PERANCANGAN SISTEM

Implementasi algoritma dilakukan pada platform *game* PC bernama Malang Urban. *Game* ini berisi tentang pengelolaan kota oleh pemain untuk mendapatkan nilai tertentu. Penerapan algoritma *fuzzy* tipe-2 digunakan untuk mencari nilai *smart city* yang dapat menjadi tolok ukur kesejahteraan kota. Berikut adalah bagian – bagian yang diperlukan untuk penerapan algoritma pada penelitian ini :

A. Smart Features

Variabel ini merupakan nilai masukan yang diperlukan untuk mendapatkan nilai *smart city*. Terdapat 6 *smart features* yang digunakan pada penelitian ini, yaitu :

- Smart Governance
- Smart Economy
- Smart Mobility
- Smart People
- Smart Living
- Smart Environment.

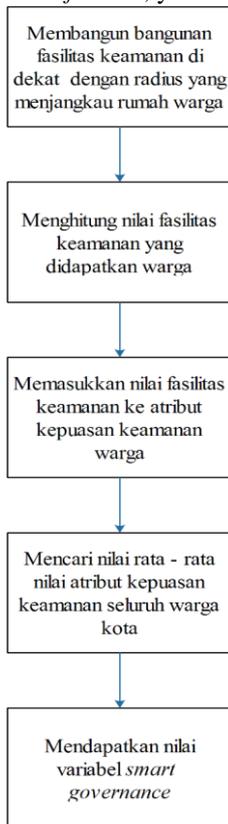
B. Variabel Warga

Variabel warga merupakan variabel di dalam *game* yang mewakili nilai atribut dari warga. Setiap variabel akan diolah pada proses di dalam *game* untuk mendapatkan nilai – nilai *smart features*. Sebagian nilai variabel – variabel warga bersumber dari nilai yang didapatkan ketika obyek *game* ditempatkan. Sebagian berasal dari variabel warga yang telah diolah.

C. Obyek Game

Obyek di dalam *game* menghasilkan nilai tertentu yang dapat memberikan nilai tertentu terhadap variabel warga. Ketika sebuah obyek pemerintahan menjangkau

rumah warga, maka nilai tertentu akan ditambahkan kepada variabel warga sesuai dengan fungsi obyek tersebut. Nilai yang didapat dari obyek *game* ini berfungsi sebagai sumber nilai yang didapatkan di dalam *game*. Berikut diagram blok alur didapatkannya nilai dari sebuah *smart feature*, yaitu *smart governance*:



Gambar 2. Diagram blok alur didapatkannya nilai *smart governance*

D. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi dilakukan untuk mengubah nilai tegas yang berasal dari nilai *smart feature* menjadi nilai *fuzzy*. Nilai *fuzzy* mewakili besarnya derajat keanggotaan nilai *smart feature* terhadap anteseden. Pada penelitian ini, terdapat 3 anteseden yaitu :

- *not ready*, dengan derajat keanggotaan atas berasal dari nilai (0 – 70) dan derajat keanggotaan bawah berasal dari nilai (0 - 60).
- *standard*, dengan derajat keanggotaan atas berasal dari nilai (45 – 85) dan derajat keanggotaan bawah berasal dari nilai (55 - 75).
- *good smart*, dengan derajat keanggotaan atas berasal dari nilai (60 – 100) dan derajat keanggotaan bawah berasal dari nilai (70 - 100).

E. Kaidah Fuzzy

Merujuk pada [7], kaidah yang digunakan untuk mendapatkan nilai *smart city* adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Kaidah *fuzzy*

No.	SF1	SF2	SF3	SF4	SF5	SF6	SC
1.	G	G	G	G	G	G	G
2.	G	G	G	G	G	A	G
3.	G	G	G	G	A	G	G
4.	G	G	G	A	G	G	G
5.	G	G	A	G	G	G	G
6.	G	A	G	G	G	G	G

7.	A	G	G	G	G	G	G
8.	G	G	G	G	A	A	G
9.	G	G	G	A	A	G	G
10.	G	G	A	A	G	G	G
11.	G	A	A	G	G	G	G
12.	A	A	G	G	G	G	G
13.	G	G	G	A	A	A	A
14.	G	G	A	A	A	G	A
15.	G	A	A	A	G	G	A
16.	A	A	A	G	G	G	A
17.	G	G	A	A	A	A	B
18.	G	A	A	A	A	G	B
19.	A	A	A	A	G	G	B

SF = Smart Features, SC = Smart City G = Good Smart, A = Standard, B = Not Ready.

Kaidah – kaidah ini digunakan sebagai acuan dalam proses inferensi.

F. Inferensi

Proses inferensi berfungsi untuk mendapatkan derajat dari sebuah konsekuen. Pada penelitian ini konsekuen mewakili sifat – sifat dari variabel hasil yaitu *smart city*. Terdapat 3 konsekuen yang digunakan pada penelitian ini, yaitu :

- *not ready*, dengan derajat keanggotaan atas berasal dari nilai (0 – 70) dan derajat keanggotaan bawah berasal dari nilai (0 - 60).
- *standard*, dengan derajat keanggotaan atas berasal dari nilai (45 – 85) dan derajat keanggotaan bawah berasal dari nilai (55 - 75).
- *good smart*, dengan derajat keanggotaan atas berasal dari nilai (60 – 100) dan derajat keanggotaan bawah berasal dari nilai (70 - 100).

G. Reduksi Tipe

Proses reduksi tipe mengubah himpunan *fuzzy* tipe-2 menjadi himpunan *fuzzy* tipe-1. Pada penelitian ini digunakan algoritma Nie – Tan (NT) untuk melakukan proses reduksi tipe. Secara umum algoritma NT berbentuk sebagai berikut :

$$y_{NT}(x') = COG \left\{ \frac{1}{2} [\underline{\mu}_B(y|x') + \bar{\mu}_B(y|x')] \right\} \quad (5)$$

H. Defuzzifikasi

Proses defuzzifikasi pada algoritma *fuzzy* tipe-2 biasanya sudah tersambung dengan proses reduksi tipenya. Pada penelitian ini proses defuzzifikasi menggunakan algoritma Nie – Tan yang sudah dipakai pada proses reduksi tipe. Secara umum proses defuzzifikasi menggunakan algoritma NT adalah sebagai berikut :

$$y_{NT}(x') = \frac{\sum_{j=1}^b \alpha_j y_{NT, \alpha_j}(x')}{\sum_{j=1}^k \alpha_j} \quad (6)$$

Pada proses ini didapatkan nilai *smart city* yang digunakan untuk mendapatkan kriteria kesejahteraan kota. Kriteria kesejahteraan kota berdasar pada nilai tegas berikut :

Tabel 2. Klasifikasi *smart city*

No.	Nama Kategori	Interval Nilai
1	<i>NotReady</i>	0 - 50
2	<i>Standard</i>	51 – 79
3	<i>Good Smart</i>	80 - 100

IV. PEMBAHASAN

A. Uji Coba

Uji coba dilakukan di dalam *game* pada skala 1 tahun *game*.

Gambar 3. Hasil nilai *smart city* dan kategori

Gambar 3. menunjukkan hasil yang didapatkan dari uji coba yang telah dilakukan. Selain nilai diatas, dilakukan percobaan lanjutan dengan nilai sebagai berikut :

Tabel 3. Hasil uji coba

N o.	SF 1	SF 2	SF 3	SF 4	SF 5	SF 6	SC	Katego ri
1.	60	51	52	70	73	58	0	<i>Not Ready</i>
2.	63	60	78	72	69	53	0	<i>Not Ready</i>
3.	52	65	62	74	59	56	0	<i>Not Ready</i>
4.	70	37	79	15	54	70	0	<i>Not Ready</i>
5.	60	14	46	16	44	60	0	<i>Not Ready</i>
6.	17	26	17	80	21	17	0	<i>Not Ready</i>
7.	12	15	52	79	76	12	0	<i>Not Ready</i>
8.	53	35	61	16	75	53	0	<i>Not Ready</i>
9.	57	77	61	71	77	57	0	<i>Not Ready</i>
10	52	65	81	75	92	52	0	<i>Not Ready</i>
11	80	95	59	95	84	80	84,4	<i>Good Smart</i>
12	95	58	71	59	10	95	65,0	<i>Standard</i>
13	50	78	62	73	96	50	0	<i>Not Ready</i>
14	80	98	90	85	76	80	85,0	<i>Good Smart</i>
15	96	71	90	83	83	96	84,4	<i>Good Smart</i>

SF1 = *Smart Governance*, SF2 = *Smart Economy*, SF3 = *Smart Mobility*, SF4 = *Smart People*, SF5 = *Smart Life*, SF5 = *Smart Environment*, SC = *Smart City*

Nilai – nilai dari smart features pada Tabel 3. didapatkan dari nilai yang didapatkan dari 15 percobaan pada *game*. Nilai *smart city* didapatkan dengan pengolahan algoritma *fuzzy* tipe-2 yang telah diimplementasikan di dalam *game*.

B. Analisa

Dari percobaan diatas didapatkan hasil nilai *Smart City* dengan kriteria *not ready* sebesar 73,33%, *standard* sebesar 6,67% dan *good smart* Sebesar 20%. Banyaknya nilai *not ready* dikarenakan adanya nilai – nilai yang tidak termasuk pada anteseden *standard* dan *good smart* yang dijadikan sebagai dasar pada pembuatan kaidah. Pada Tabel 1. tidak ada nilai masukan dengan anteseden *not ready* sehingga ketika nilai dari salah satu *smart features* lebih dekat kepada anteseden *not ready* maka akan menghasilkan kategori *smart city* bernilai *not ready*.

V. KESIMPULAN

Dari hasil uji coba dan pembahasan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa algoritma *fuzzy* tipe-2 *general* mampu mendapatkan hasil tingkat kesejahteraan kota berdasarkan standar *smart city*. Hasil yang didapatkan sesuai dengan kaidah yang telah ditetapkan pada penelitian ini. Dari percobaan – percobaan yang dilakukan pada penelitian ini didapatkan hasil kriteria kota dengan nilai kriteria *not ready* sebesar 73,33%, *standard* sebesar 6,67% dan *good smart* Sebesar 20%.

REFERENSI

- [1] U. Solid, "Apa itu Tata Kota?," 25-Feb-2015. [Daring]. Tersedia pada: <http://civicara.com/2015/02/25/apa-itu-tata-kota/>. [Diakses: 08-Des-2018].
- [2] L. A. Zadeh, "The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning-I," *Inf. Sci.*, vol. 8, no. 3, hlm. 199–249, 1975, doi: 10.1016/0020-0255(75)90036-5.
- [3] C. I. Gonzalez, P. Melin, dan O. Castillo, "Edge Detection Method Based on General Type-2 Fuzzy Logic Applied to Color Images," *Information*, vol. 8, no. 104, hlm. 1–15, 2017, doi: <https://doi.org/10.3390/info8030104>.
- [4] C. Wen, Z. Hui, dan L. Yuling, "Intelligent traffic signal controller based on type-2 fuzzy logic and NSGAI," *J. Intell. Fuzzy Syst.*, vol. 29, no. 6, hlm. 2611 – 2618, doi: <https://doi.org/10.3233/IFS-151964>.
- [5] T. Kumbasar dan H. Hagra, "A Type-2 Fuzzy Cascade Control Architecture for Mobile Robots," *IEEE Int. Conf. Syst. Man Cybern.*, hlm. 3226 – 3231, doi: <https://doi.org/10.1109/SMC.2013.550>.
- [6] M. Z. Al - Faiz dan M. S. Saleh, "Design and Implementation of Type 2 Fuzzy Logic Controllers for The Position Control of a DC Servo Motor," *Diyala J. Eng. Sci.*, vol. 07, no. 03, hlm. 120–130, 2014.
- [7] M. I. Perangin-angin, Khairul, dan P. U. S. Andysah, "Fuzzy Logic Concept in Technology, Society, and Economy Areas in Predicting Smart City," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 2, no. 12, hlm. 176–181, Des 2016.
- [8] D. Wu, "Approaches for Reducing the Computational Cost of Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems: Overview and Comparisons," *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 21, no. 1, hlm. 80–99, Feb 2013, doi: 10.1109/TFUZZ.2012.2201728.
- [9] J. M. Mendel, R. I. B. John, dan F. Liu, "Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems Made Simple," *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 14, no. 6, hlm. 808–821, 2006, doi: <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2006.879986>.
- [10] R. Giffinger, C. Fertner, H. Kramar, R. Kalasek, N. Pichler-Milanović, dan E. Meijers, "Smart cities Ranking of European medium-sized cities." 2007.