

IMPLEMENTASI FUZZY MAMDANI UNTUK SISTEM ITEM DINAMIS PADA GIM

Umar Rafi' Besariono¹⁾, Umi Rosyidah²⁾

^{1,2)} Teknik Informatika Universitas Dian Nuswantoro

email : 111202214050@mhs.dinus.ac.id¹⁾, umi.rosyidah@dsn.dinus.ac.id²⁾

Abstraksi

Sistem *item* merupakan komponen penting dalam permainan yang berperan membantu pemain. Namun, sistem *item* yang bersifat statis cenderung gagal menyesuaikan diri dengan kemampuan dan kebutuhan pemain sehingga berisiko menciptakan pengalaman bermain yang membosankan. Penelitian ini berfokus pada perancangan dan implementasi sistem kemunculan *item* secara dinamis menggunakan metode logika fuzzy Mamdani pada game Guardian of Underwater. Ruang lingkup penelitian dibatasi pada penentuan kemunculan *item* berdasarkan kondisi pemain selama permainan berlangsung. Metode yang digunakan adalah logika fuzzy Mamdani dengan dua parameter input, yaitu persentase nyawa dan interval waktu pengumpulan objective. Proses fuzzy meliputi tahapan fuzzifikasi sampai dengan defuzzifikasi untuk menentukan jumlah dan jenis *item* yang muncul. Hasil pengujian menggunakan evaluasi Game Experience Questionnaire (GEQ) menghasilkan nilai rata-rata sebesar 3,52, yang menunjukkan tingkat kepuasan pemain berada pada kategori baik. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa penerapan logika fuzzy Mamdani berhasil meningkatkan adaptivitas sistem *item* dan memberikan pengalaman bermain yang lebih seimbang dan interaktif.

Kata Kunci :

Logika Fuzzy Mamdani, Sistem Item Dinamis, Game Edukasi, Unity, GEQ

Abstract

The item system is a crucial component in a game that serves to assist players. However, static item systems tend to fail in adapting to the players' abilities and needs, posing a risk of creating a monotonous gameplay experience.. This research focuses on designing and implementing a dynamic item spawning system using the Mamdani Fuzzy Logic method in the game Guardian of Underwater. The scope is limited to determining item spawns based on real-time player conditions. The system utilizes two input parameters: health percentage and the time interval of objective collection. The fuzzy process involves stages from fuzzification to defuzzification to decide the quantity and type of items spawned. Testing conducted via the Game Experience Questionnaire (GEQ) yielded an average score of 3.52, indicating a "Good" level of player satisfaction. This study concludes that Mamdani Fuzzy Logic successfully enhances system adaptivity, providing a more balanced and interactive gameplay experience.

Keywords :

Mamdani Fuzzy Logic, Dynamic Item System, Educational Game, Unity, GEQ

Pendahuluan

Laut merupakan sebuah ekosistem terbesar di bumi yang menyimpan banyak keanekaragaman makhluk hidup di dalamnya. Salah satu keanekaragaman tersebut adalah berbagai ekosistem terumbu karang yang menjadi habitat berbagai ikan. Namun, ekosistem terumbu karang ini rentan mengalami kerusakan akibat sejumlah faktor seperti, pencemaran laut, penggunaan bahan peledak dalam penangkapan ikan, sampai dengan perubahan iklim[1]. Salah satu bentuk pencemaran laut yang cukup serius adalah pembuangan limbah plastik ke laut. Limbah ini dapat terurai menjadi partikel mikroplastik yang berpotensi mengganggu keseimbangan ekosistem dan membahayakan biota laut di dalamnya [2].

Kondisi nyata ini dapat diangkat menjadi inspirasi untuk dikembangkan ke dalam berbagai media seperti film, literatur, sampai dengan *video game*. *Video game* menjadi salah satu media populer yang dapat menghibur dan mengedukasi pemain. Beberapa gim

telah menjadikan pencemaran laut sebagai tema utama dalam permainannya. Berbeda dengan beberapa gim serupa yang masih bersifat statis dan hanya berfokus pada mekanisme pembersihan sampah, penelitian ini menghadirkan gim berjudul "Guardian of Underwater". Permainan ini mengimplementasikan sistem *item* dinamis menggunakan metode fuzzy Mamdani untuk menciptakan pengalaman bermain yang lebih adaptif dan interaktif. Selain bertujuan untuk mengedukasi pemain mengenai pentingnya menjaga ekosistem laut, permainan ini akan menantang pemain untuk membersihkan sampah dan memulihkan terumbu karang sembari menghadapi rintangan musuh. Penggunaan sistem *item* dinamis diharapkan dapat membantu pemain dalam menyelesaikan tantangan permainan sesuai dengan kemampuan masing-masing.

Tinjauan Pustaka

Menurut studi yang dilakukan sebelumnya, penerapan sistem kemunculan *item* secara otomatis menggunakan kecerdasan buatan dapat menciptakan pengalaman bermain yang dinamis dan beragam. Penggunaan kecerdasan buatan dapat menyesuaikan distribusi *item* secara adaptif terhadap kondisi pemain, dan meningkatkan keinginan pemain untuk mengulangi permainan [3]. Maka dari itu, dibutuhkan sistem adaptif seperti sistem “Logika Fuzzy” agar distribusi *item* dapat menyesuaikan dengan kemampuan dan kebutuhan pemain.

Logika fuzzy dapat diterapkan untuk mengatur kemunculan *item* secara adaptif sesuai kebutuhan pemain. Pendekatan logika fuzzy sudah banyak dipakai dalam berbagai penelitian, misalnya penelitian yang menerapkan logika fuzzy untuk menentukan tingkat kesulitan pemain saat bermain[4][5]. Selanjutnya ada penelitian yang menerapkan logika fuzzy untuk menentukan tingkat kesulitan dan perilaku musuh[6]. Dan terakhir, ada penelitian yang menerapkan logika fuzzy untuk menentukan “*reward*” secara adaptif sesuai dengan kemampuan pemain. Namun demikian, penggunaan logika fuzzy untuk menentukan kemunculan *item* secara adaptif masih jarang dilakukan[7][8].

Video Game

Video game merupakan bentuk hiburan digital yang melibatkan interaksi antara perangkat lunak permainan, pemain, dan perangkat keras pengolah permainan. *Video game* dapat menampilkan gambar, teks, dan animasi interaktif yang disajikan melalui media seperti televisi, gawai, dan komputer. Selain menjadi sarana hiburan, *video game* dapat dimanfaatkan sebagai sarana edukatif yang dapat mendukung proses pembelajaran [9].

Peran edukatif ini dimungkinkan karena sifat interaktif pada *video game*. Melalui interaksi tersebut, materi pembelajaran tidak lagi disajikan secara pasif, melainkan disajikan dengan cara yang interaktif. *Video game* mengajak pemain untuk terlibat langsung, memecahkan masalah dan merasakan langsung konsep pembelajaran, sehingga proses pembelajaran dapat lebih menyenangkan dan efektif[10][11].

Game Engine

Game engine merupakan perangkat lunak yang bersifat fleksibel dan dapat dijadikan sebagai alat pengembangan berbagai jenis permainan tanpa memerlukan perubahan besar pada struktur utamanya [12]. Namun, sebagian besar *game engine* dirancang secara khusus untuk dijalankan pada perangkat keras tertentu, sehingga mendapatkan performa secara maksimal. Dengan kata lain, *game engine* berperan sebagai alat utama dalam pengembangan gim yang mampu mengakomodasi berbagai kebutuhan perangkat keras sekaligus menjaga efisiensi dan kestabilan sistem

Sebagai inti dari pengembangan gim digital, *game engine* menyediakan berbagai komponen penting

seperti sistem grafis, komputasi fisika, pengolahan data dan manajemen memori[12].Komponen tersebut dapat membantu pengembang agar berfokus dalam menciptakan permainan yang unik. Selain itu, game engine juga memainkan peran dalam lingkungan pengembangan dengan menyediakan komponen perangkat lunak dan alat bantu visual yang dapat membantu proses produksi.

Artificial Intelligence

Artificial Intelligence (AI) atau biasa disebut dengan kecerdasan buatan merupakan bidang ilmu komputer yang berfokus pada pembuatan sistem yang meniru perilaku dan kemampuan manusia[13]. Dalam beberapa dekade terakhir, kecerdasan buatan telah mengalami kemajuan yang cepat dan luar biasa. Teknologi kecerdasan buatan, termasuk pemrosesan bahasa alami, penglihatan komputer, dan Machine Learning (ML), semakin banyak menyebar ke berbagai bidang ilmu. Teknologi AI juga dapat mengambil alih pekerjaan manusia dan menggantikan pengambilan keputusan manusia.

Kecerdasan buatan telah digunakan dalam banyak industri, seperti pengembangan gim, logistik, transportasi, kesehatan, pendidikan, dan lainnya[13]. Kecerdasan buatan telah meningkatkan efisiensi, biaya, ekonomi, pembangunan sosial, dan kesejahteraan manusia. Sebagai contoh, kecerdasan buatan telah digunakan dalam pengembangan gim untuk meningkatkan efisiensi selama pengembangan. Kecerdasan buatan digunakan dalam pengembangan gim untuk berbagai tujuan, mulai dari membuat ide hingga membantu proses pemrograman gim. Dalam pembuatan ide, kecerdasan buatan dapat digunakan untuk membuat ide, *brainstorming*, pembuatan aset, dan sebagainya. Dalam proses pemrograman gim, pengembang dapat menerapkan kecerdasan buatan untuk mengatur tingkat kesulitan secara dinamis, perilaku *Non-Playable Character* (NPC) sampai dengan pemberian reward secara adaptif [14].

Logika Fuzzy

Peran edukatif ini dimungkinkan karena sifat interaktif pada video game. Melalui interaksi tersebut, materi pembelajaran tidak lagi disajikan secara pasif, melainkan disajikan dengan cara yang interaktif. *Video game* mengajak pemain untuk terlibat langsung, memecahkan masalah dan merasakan langsung konsep pembelajaran, sehingga proses pembelajaran dapat lebih menyenangkan dan efektif[15].

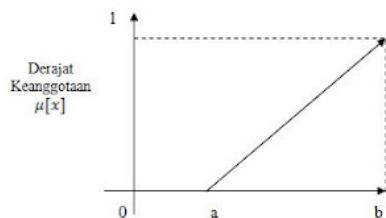
Metode fuzzy Mamdani dapat menghasilkan keputusan linguistik (fuzzy output), yang kemudian dikonversi kembali menjadi nilai pasti (*crisp output*) melalui proses defuzzifikasi. Berbeda dengan metode fuzzy sugeno yang menghasilkan nilai konstanta kaku, metode fuzzy mamdani sering digunakan karena kemampuan untuk meniru cara berpikir manusia secara intuitif [16]. Salah satu kelebihan metode fuzzy Mamdani dapat sangat mudah dimengerti karena menggunakan basis aturan berbentuk IF-THEN dengan istilah linguistik seperti “rendah”, “sedang”, dan “tinggi”, Metode ini juga lebih optimal

dalam menangani sistem MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), yaitu sistem dengan lebih dari satu *input* dan *output*, serta mampu menghasilkan output yang lebih halus dan variatif dibandingkan nilai singleton atau konstanta. Adapun kelemahan logika mamdani yang terletak pada kompleksitas komputasinya, terutama jika jumlah basis aturan dan jumlah variabel input semakin banyak. Hal ini menyebabkan waktu proses inferensi yang dilakukan akan meningkat secara eskponensial. Oleh karena itu, teknik ini banyak digunakan dalam bidang seperti peramalan, manajemen risiko, sistem kontrol, dan penyesuaian kesulitan permainan dalam video game, yang juga dikenal sebagai penyesuaian kesulitan dinamis [6].

Dalam metode fuzzy mamdani, fungsi keanggotaan merupakan representasi matematis yang mengukur hubungan nilai masukan dengan himpunan fuzzy. Nilai keanggotaan dalam sistem logika fuzzy memiliki lebih dari dua pilihan, yaitu benar atau salah. Mereka juga menampilkan derajat keanggotaan dalam interval 0 hingga 1. Bentuk kurva yang dipilih sangat memengaruhi hasil inferensi. Dalam metode fuzzy Mamdani, bentuk fungsi keanggotaan adalah sebagai berikut:

Kurva Linear Naik

Fungsi ini menggambarkan kenaikan derajat secara linear dari derajat 0 sampai dengan 1. Representasi kurva linear naik tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Kurva Linear Naik [16]

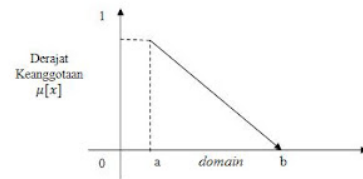
$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ 1, & x \geq b \end{cases} \quad (1)$$

Keterangan:

- $\mu(x)$ merupakan derajat keanggotaan dengan rentang nilai antara 0 sampai dengan 1.
- x merupakan variable *input*.
- a merupakan batas bawah, yaitu nilai di mana derajat keanggotaan mulai naik dari 0 ke 1.
- b merupakan batas atas, yaitu nilai di mana derajat keanggotaan mencapai 1.

Kurva Linear Turun

Fungsi ini menggambarkan penurunan derajat secara linear dari derajat 1 sampai dengan 0. Representasi kurva linear turun tersebut dapat dilihat pada Gambar 2 berikut



Gambar 2. Kurva Linear Turun [16]

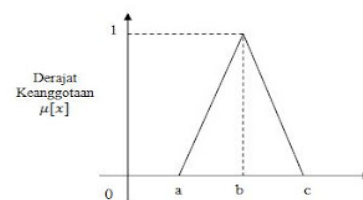
$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a}, & a < x < b \\ 0, & x \geq b \end{cases} \quad (2)$$

Keterangan:

- $\mu(x)$ merupakan derajat keanggotaan dengan rentang nilai antara 0 sampai dengan 1.
- x merupakan variable *input*.
- a merupakan batas atas, yaitu nilai di mana derajat keanggotaan mulai naik dari 1 ke 0.
- b merupakan batas bawah, yaitu nilai di mana derajat keanggotaan mencapai 0.

Kurva Segitiga

Fungsi ini menggambarkan kurva segitiga yang ditentukan melalui tiga parameter. Kurva ini merupakan gabungan dari kurva linear naik dan turun. Representasi kurva segitiga tersebut dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Kurva Segitiga [16]

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

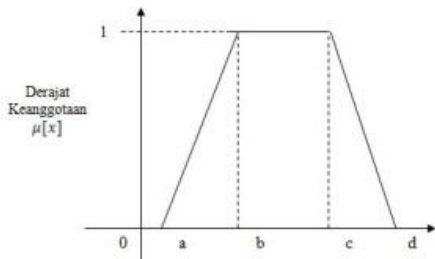
Keterangan:

- $\mu(x)$ merupakan derajat keanggotaan dengan rentang nilai antara 0 sampai dengan 1.
- x merupakan variable *input*.
- a merupakan batas bawah, yaitu nilai di mana derajat keanggotaan mulai naik dari 0 ke 1.
- b merupakan titik puncak, yaitu nilai di mana derajat keanggotaan mencapai 1.
- c merupakan batas atas, yaitu nilai di mana derajat keanggotaan mulai turun dari 1 ke 0.

Kurva Trapesium

Fungsi ini menggambarkan kurva trapesium yang ditentukan dengan empat parameter. Kurva ini adalah

gabungan dari dua kurva yaitu, kurva linear naik dan turun dengan penambahan area datar pada bagian atasnya. Representasi kurva trapesium tersebut dapat dilihat pada Gambar 4 berikut



Gambar 4. Kurva Trapesium [16]

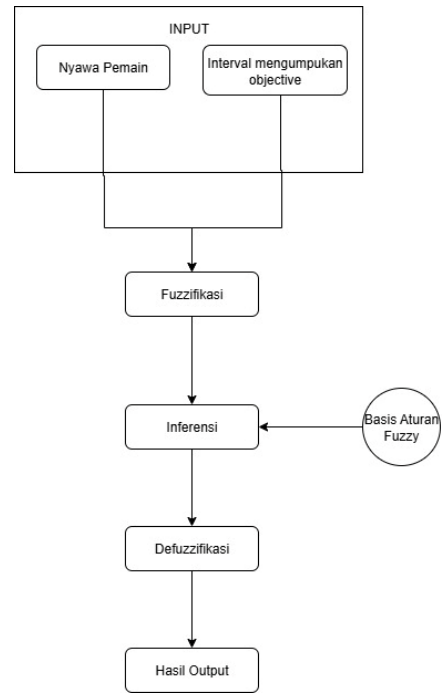
$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b \\ 1, & b < x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c < x < d \\ 0, & x \geq d \end{cases} \quad (4)$$

Keterangan:

- $\mu(x)$ merupakan derajat keanggotaan dengan rentang nilai antara 0 sampai dengan 1.
- x merupakan variable *input*.
- a merupakan batas bawah, yaitu nilai di mana derajat keanggotaan mulai naik dari 0 ke 1.
- b merupakan titik bahu kiri, yaitu nilai di mana derajat keanggotaan mencapai 1.
- c merupakan titik bahu kanan, yaitu nilai di mana derajat keanggotaan mulai turun dari 1 ke 0.
- d merupakan batas atas, yaitu nilai di mana derajat keanggotaan kembali menjadi 0.

Metode Penelitian

Pada penelitian ini, *item* yang akan dimunculkan memiliki dua tipe berdasarkan efeknya, yaitu *support* dan *attack*. *Item support* merupakan item pendukung yang dapat memunculkan efek *buff* atau penguatan kepada pemain, sedangkan *item attack* merupakan *item* pendukung yang memunculkan efek *debuff* pada musuh. *Item* tersebut juga memiliki dua tipe berdasarkan *spawn* atau lokasi tempat kemunculannya, yaitu *place* dan *random*. *Item place* merupakan *item* yang dimunculkan pada lokasi yang telah ditentukan sedangkan *item random* merupakan *item* yang dimunculkan secara acak berdasarkan kebutuhan dan kemampuan pemain.



Gambar 5. Metode Yang Diusulkan

Berdasarkan Gambar 5 di atas, diketahui tahapan-tahapan penelitian untuk menerapkan sistem kemunculan item secara adaptif, yaitu:

Input Parameter

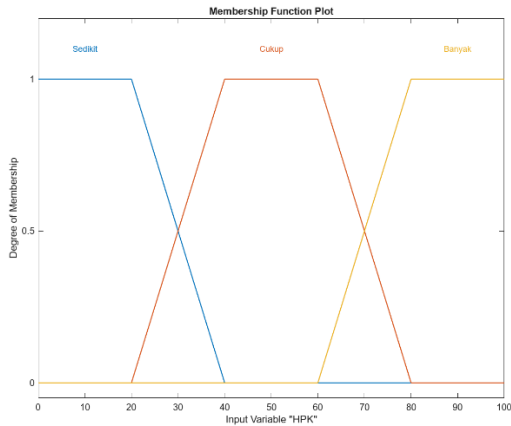
Parameter *input* yang digunakan dalam sistem kemunculan item adaptif ini meliputi parameter nyawa dan parameter interval mengumpulkan *objective*. Parameter nyawa ini dikelompokkan menjadi 3 jenis, yaitu sedikit, cukup, dan banyak. Parameter nyawa ini digunakan untuk mengetahui persentase nyawa yang dimiliki oleh pemain. Selanjutnya, ada parameter interval pengumpulan *objective* yang digunakan untuk mengetahui seberapa cepat pemain mengumpulkan item yang harus dikumpulkan untuk menyelesaikan permainan. Parameter ini dikelompokkan menjadi 3 jenis, yaitu cepat, cukup, lambat.

Fuzzifikasi

Dalam tahap ini, parameter *input* yang telah ditentukan akan menjadi nilai himpunan fuzzy. Dalam penelitian ini akan ada 4 fungsi keanggotaan, yaitu nyawa pemain, interval pengumpulan *objective*, *item support*, dan *item attack*. Setelah mengubah nilai menjadi himpunan fuzzy, tahapan selanjutnya yaitu melakukan inferensi terhadap nilai tersebut. Berikut merupakan penjelasan masing-masing fungsi keanggotaan yang akan diterapkan

Nyawa Pemain

Fungsi keanggotaan ini digunakan untuk parameter *input*. Fungsi keanggotaan ini diambil dari persentase nyawa pemain. Dalam kurva keanggotaan, nyawa pemain dapat direpresentasikan dengan singkatan "HPK" atau disebut Health Point Karakter. Kurva keanggotaan ini dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Nyawa Pemain

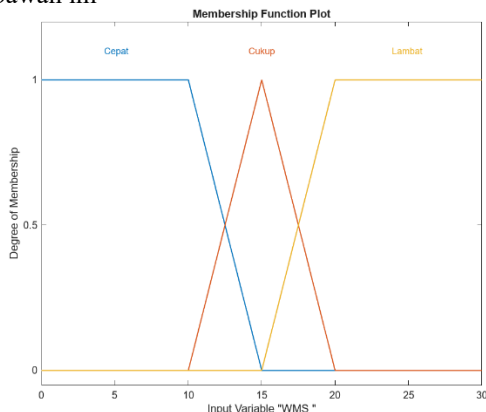
$$\text{Sedikit } \mu(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 20 \\ \frac{b-x}{b-a}, & 20 < x < 40 \\ 0, & x \geq 40 \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{Cukup } \mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 20 \\ \frac{x-a}{b-a}, & 20 < x \leq 40 \\ 1, & 40 < x \leq 60 \\ \frac{d-x}{d-c}, & 60 < x < 80 \\ 0, & x \geq 80 \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{banyak } \mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 60 \\ \frac{x-a}{b-a}, & 60 < x < 80 \\ 1, & x \geq 80 \end{cases} \quad (7)$$

Interval Mengumpulkan Objective

Fungsi keanggotaan ini digunakan untuk parameter *input*. Fungsi keanggotaan ini diambil dari interval pengumpulan *item objective* yang dikumpulkan oleh pemain. Kurva keanggotaan interval mengumpulkan *objective* direpresentasikan sebagai “WMS” atau biasa disebut dengan Waktu Mengumpulkan Sampah. Kurva keanggotaan ini dapat dilihat pada Gambar 7 di bawah ini



Gambar 7. Fungsi Keanggotaan Interval Mengumpulkan Objective

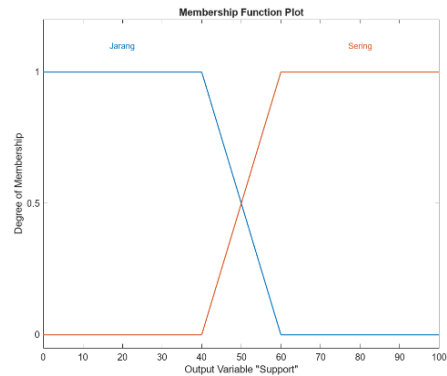
$$\text{Cepat } \mu(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 10 \\ \frac{b-x}{b-a}, & 10 < x < 15 \\ 0, & x \geq 15 \end{cases} \quad (8)$$

$$\text{Cukup } \mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 10 \\ \frac{x-a}{b-a}, & 10 < x \leq 15 \\ \frac{c-x}{c-b}, & 15 < x < 20 \\ 0, & x \geq 20 \end{cases} \quad (9)$$

$$\text{Lambat } \mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 15 \\ \frac{x-a}{b-a}, & 13 < x < 20 \\ 1, & x \geq 20 \end{cases} \quad (10)$$

Item Support

Fungsi keanggotaan ini digunakan untuk parameter output. Fungsi keanggotaan ini digunakan untuk menghasilkan nilai persentase seberapa sering *item support* yang akan muncul. Maksimal kemunculan *item support* yaitu 5 buah item. Kurva keanggotaan *item support* dapat dilihat pada Gambar 8 di bawah ini



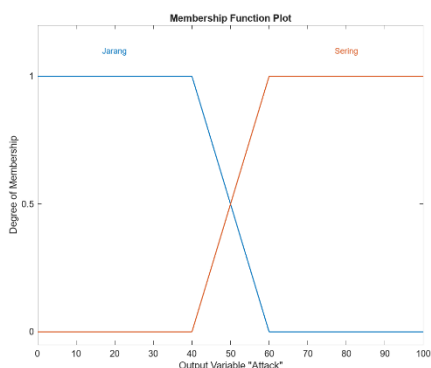
Gambar 8. Fungsi Keanggotaan Item Support

$$\text{Jarang } \mu(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 40 \\ \frac{b-x}{b-a}, & 40 < x < 60 \\ 0, & x \geq 60 \end{cases} \quad (11)$$

$$\text{Sering } \mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 40 \\ \frac{x-a}{b-a}, & 40 < x < 60 \\ 1, & x \geq 60 \end{cases} \quad (12)$$

Item Attack

Fungsi keanggotaan ini digunakan untuk parameter output. Fungsi keanggotaan ini digunakan untuk menghasilkan nilai persentase seberapa sering *item attack* yang akan muncul. Maksimal kemunculan *item attack* yaitu 5 buah item. Kurva keanggotaan *item attack* dapat dilihat pada Gambar 9 di bawah ini



Gambar 9. Fungsi Keanggotaan Item Attack

$$\begin{aligned} \text{Jarang } \mu(x) &= \begin{cases} 1, & x \leq 40 \\ \frac{b-x}{b-a}, & 40 < x < 60 \\ 0, & x \geq 60 \end{cases} \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \text{Sering } \mu(x) &= \begin{cases} 0, & x \leq 40 \\ \frac{x-a}{b-a}, & 40 < x < 60 \\ 1, & x \geq 60 \end{cases} \end{aligned} \quad (14)$$

Inferensi

Dalam tahap ini, nilai yang telah diubah menjadi himpunan fuzzy akan dicocokkan dengan basis aturan yang telah dibuat. Basis aturan yang dibuat menggunakan “if...then” dengan “and” sebagai operatormya. Dasar penentuan setiap aturan didasarkan dari hasil pemetaan silang antara 3 kategori keanggotaan input HPK dan 3 kategori keanggotaan input WMS yang menghasilkan 9 basis aturan unik guna memastikan transisi kemunculan *item* yang halus dan variatif. Setelah memperoleh basis aturan yang tepat, masing-masing derajat keanggotaan tersebut akan diterapkan menggunakan operasi “min”. Berikut adalah daftar basis aturan yang akan diterapkan berdasarkan Tabel 1 di bawah ini

Tabel 1. Basis Aturan Fuzzy

RULE NO	HPK	WMS	ITEM KIND	
			SUPPORT	ATTACK
R1	Sedikit	Lambat	Sering	Jarang
R2	Sedikit	Cukup	Sering	Jarang
R3	Sedikit	Cepat	Sering	Jarang
R4	Cukup	Lambat	Sering	Jarang
R5	Cukup	Cukup	Jarang	Sering
R6	Cukup	Cepat	Jarang	Sering
R7	Banyak	Lambat	Sering	Jarang
R8	Banyak	Cukup	Jarang	Sering
R9	Banyak	Cepat	Jarang	Sering

Defuzzifikasi

Dalam tahap ini, nilai himpunan fuzzy yang telah dihasilkan selama proses inferensi akan diubah menjadi nilai yang jelas. Nilai tersebut akan

menentukan seberapa sering tipe *item* yang akan muncul untuk pemain.

Hasil Output Item

Pada tahap ini akan memunculkan item yang adaptif sesuai dengan kebutuhan pemain. Berikut adalah daftar *item* yang dapat membantu pemain berdasarkan Tabel 2 di bawah ini

Tabel 2. Daftar Item

Name	Effect	Usability	Aset
Repair Kit	Penyembuhan	Support	
Full Repair Kit	Penyembuhan Maksimal	Support	
Magnet	Magnet koin / sampah	Support	
Booster	menambah kecepatan	Support	
Coral Finder	Menunjukkan Tempat Karang	Support	
Slow Kit	mengurangi speed musuh	Attack	
Reverb Kit	mengurangi HP musuh	Attack	
Shockwave	Mengurangi HP secara bertahap	Attack	
Bubble Kit	Mengurangi HP musuh secara bertahap+ Stun	Attack	
Stun Kit	Menjadikan musuh tidak bergerak	Attack	

Hasil dan Pembahasan

Bagian ini akan membahas hasil dari implementasi sistem item dinamis menggunakan metode logika fuzzy Mamdani pada permainan “Guardian of Underwater”. Permainan “Guardian of Underwater” merupakan permainan aksi bawah laut yang memungkinkan pemain untuk menjelajah serta menjaga ekosistem di bawah laut dari pencemaran. Penggunaan metode fuzzy Mamdani pada sistem kemunculan *item*, menghasilkan kemunculan item yang berbeda jenis dan lokasi berdasarkan kebutuhan pemain. Dengan menggunakan parameter nyawa dan interval mengumpulkan sampah, sistem dapat memunculkan item secara dinamis

Tujuan Game Yang Harus Dipenuhi

Di dalam permainan terdapat beberapa tugas yang pemain dapat lakukan untuk menyelesaikan permainan agar dapat membuka *stage* yang lebih menantang. Berikut adalah beberapa tugas yang dapat pemain lakukan di dalam permainan:

1. Pemain dapat mengerjakan salah satu *objective* yaitu membersihkan terumbu karang dan mengumpulkan sampah yang tersebar untuk menyelesaikan permainan.
2. Pemain dapat menghindari rintangan berupa musuh yang bervariasi seperti hiu, paus dan musuh lainnya.

3. Pemain dapat menggunakan *item* yang tersedia pada permainan untuk memudahkan permainan

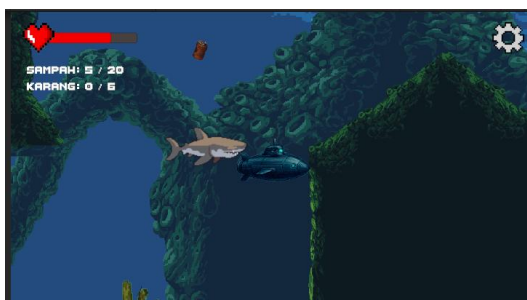
Penerapan Logika Fuzzy

Implementasi logika fuzzy untuk kemunculan item secara dinamis di dalam gim “Guardian of Underwater” menggunakan metode logika fuzzy Mamdani. Metode logika fuzzy Mamdani ini akan menentukan nilai persentase dari masing-masing tipe *item* yang akan muncul pada gim. Untuk hasil 5 kali perhitungan dapat dilihat melalui Tabel 3 berikut ini

Tabel 3. Perhitungan 5 Kali Fuzzy

H P K	W M S	Rule Aktif	α valu e (min resul t)	Skor Support Skor Attack	Jumlah Item Support Jumlah Item Attack	Hasil
26	26	R1, R4	0.7;0 .3	73.6 26.4	4 1	Sukses
47	2	R6	1	25.1 74.9	1 4	Sukses
63	16	R4, R5, R7, R8	0.2;0 .8;0. 15	34.9 65.1	2 3	Sukses
49	21	R4	1	74.9 65.1	4 1	Sukses
70	15	R5, R8	0.5;0 .5	27.3 72.7	1 4	Sukses

Berdasarkan Tabel 3 di atas, dapat diketahui bahwa penggunaan logika fuzzy untuk sistem kemunculan *item* berdasarkan kemampuan pemain mendapatkan hasil yang dinamis. Hal ini dibuktikan oleh jumlah tipe *item* yang muncul yang cukup beragam sesuai dengan kemampuan dan kebutuhan pemain saat memainkan permainan. Penerapan fuzzy di atas dalam gim dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11



Gambar 10. Menghindari Musuh



Gambar 11. Mendapatkan Item Dari Hasil Fuzzy

Game Experience Questionnaire (GEQ)

Untuk mengetahui pengalaman bermain pemain saat memainkan gim “Guardian of Underwater”, dilakukanlah survei kuesioner GEQ. Survei GEQ dilakukan untuk mengetahui pengaruh penerapan logika fuzzy pada sistem kemunculan item. Survei ini menggunakan Google Form untuk mengumpulkan data pengalaman pemain. Pertanyaan GEQ akan dikelompokkan dalam 7 komponen utama berdasarkan pertanyaan pada Tabel 4

Tabel 4. Pertanyaan GEQ

NO	Pertanyaan	Komponen
1	Saya merasa berhasil dalam permainan "Guardian of Underwater"	Competence
2	Saya merasa terampil dalam permainan "Guardian of Underwater"	Competence
3	Saya merasa bahwa saya dapat menjelajahi berbagai hal dalam permainan "Guardian of Underwater"	Sensory and imaginative immersion
4	Saya merasa terkesan dengan permainan "Guardian of Underwater"	Sensory and imaginative immersion
5	Saya melupakan keadaan sekitar saat memainkan permainan "Guardian of Underwater"	Flow
6	Saya merasa sepenuhnya larut saat memainkan permainan "Guardian of Underwater"	Flow
7	Saya merasa frustrasi saat memainkan "Guardian of Underwater"	Tension
8	Saya merasa kesal saat memainkan "Guardian of Underwater"	Tension
9	Saya merasa tertantang saat memainkan "Guardian of Underwater"	Challenge
10	Saya merasa harus berusaha keras dalam permainan "Guardian of Underwater"	Challenge
11	Saya merasa permainan "Guardian of Underwater" ini membosankan	Negative effect
12	Saya merasa permainan "Guardian of Underwater" ini melelahkan.	Negative effect
13	Saya merasa puas dengan sistem item dalam permainan "Guardian of Underwater."	Positive effect
14	Saya merasa senang saat memainkan "Guardian of Underwater"	Positive effect

1. Competence: komponen ini mengukur keahlian pemain saat bermain.
2. Sensory and imaginative immersion: komponen ini mengukur sejauh man pemain terhanyut ke dalam dunia gim.
3. Flow: komponen ini mengukur kondisi keterlibatan penuh di mana pemain merasa lupa dengan waktu dan lingkungan sekitar
4. Tension: komponen ini mengukur ketegangan pemain saat bermain
5. Challenge: komponen ini mengukur tantangan yang dirasakan pemain saat bermain
6. Negative effect: komponen ini mengukur emosi negatif yang dirasakan pemain saat bermain

7. Positive effect: komponen ini mengukur emosi positif yang dirasakan pemain saat bermain GEQ pada penelitian ini dilakukan terhadap 24 responden melalui metode penyebaran kuesioner secara online. Responden diminta untuk memainkan gim “Guardian of Underwater” melalui tautan unduhan itch.io setelah itu responden mengisi kuesioner yang setelah memainkan permainan. Responden yang dipilih adalah responden yang memiliki profil sebagai pemain gim atau *gamer* aktif. Proses pengumpulan hasil kuesioner dilaksanakan pada tanggal 20 Januari 2026 sampai dengan 30 Januari 2026. Kuesioner menggunakan skala likert 1 sampai dengan 5 dengan keterangan nilai skala 1 merupakan penilaian yang terendah, sedangkan nilai skala 5 menunjukkan penilaian yang tertinggi. Untuk hasil akhir setiap komponen dan hasil akhir rata-rata GEQ, dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6 di bawah ini

Tabel 5. Hasil Skor Setiap Komponen

Komponen	Hasil Skor Akhir
Competence	79%
Sensory and imaginative immersion	77%
Flow	67%
Tension	62%
Challenge	75%
Negative effect	55%
Positive effect	81%

Tabel 6. Hasil Akhir Rata-Rata GEQ

Nama	Hasil Rata-Rata
Responden 1	3.5
Responden 2	3
Responden 3	4.285714286
Responden 4	4.071428571
Responden 5	4.357142857
Responden 6	4.071428571
Responden 7	3.928571429
Responden 8	3
Responden 9	3.214285714
Responden 10	3.571428571
Responden 11	4.214285714
Responden 12	3.357142857
Responden 13	3.571428571
Responden 14	3.785714286
Responden 15	4.785714286
Responden 16	4.214285714
Responden 17	4
Responden 18	1.857142857
Responden 19	2.714285714
Responden 20	3.785714286
Responden 21	3.571428571
Responden 22	3.071428571
Responden 23	2
Responden 24	2.642857143
Overall GEQ	3.523809524

Tabel 7. Hasil Pengujian statistik

Pengujian Statistik	
P1	0,824275362
P2	1,036231884
P3	1,326086957
P4	0,998188406
P5	1,780797101
P6	1,036231884
P7	2,144927536
P8	2,086956522
P9	1,014492754

Pengujian Statistik	
P10	1,036231884
P11	1,563405797
P12	1,592391304
P13	0,862318841
P14	0,89673913
Jumlah Varians Butir	18,19927536
Varians Skor Total	105,3623188
Hasil α skor	0,890905724
Hasil Standar Devisiasi	0,733186778

Berdasarkan hasil pada Tabel 5 dan Tabel 6 responden menunjukkan tingkat kompetensi yang tinggi dengan skor akhir sebesar 79%, yang berarti responden merasa terampil dalam menguasai permainan. Selain itu, responden juga merasakan imersif sensorik dan imajinatif yang kuat dengan skor 77%, menunjukkan bahwa responden merasa hanyut di dalam penjelajahan dunia bawah laut yang telah disajikan.

Dinamika permainan dinilai melalui keseimbangan antara tantangan dan keterlibatan emosional pemain selama bermain. Responden merasakan kondisi flow atau keterlibatan penuh sebesar 67% dan merasa cukup tertantang dengan skor akhir 75%. Meskipun terdapat unsur ketegangan (tension) sebesar 62% dan emosi negatif sebesar 55% akibat rintangan musuh, hal ini diimbangi secara signifikan oleh munculnya emosi positif yang mencapai 81%. Skor emosi positif yang tinggi ini menunjukkan bahwa interaksi dalam permainan tetap memberikan rasa senang dan kepuasan bagi para pemain.

Efektivitas penggunaan logika fuzzy dalam meningkatkan pengalaman bermain pada gim Guardian of Underwater dapat divalidasi melalui perbandingan dengan penelitian terdahulu yang memiliki karakteristik serupa. Berdasarkan hasil evaluasi menggunakan GEQ pada Tabel 6, penelitian ini memperoleh skor rata-rata sebesar 3,52. Nilai tersebut menunjukkan performa yang lebih kompetitif dibandingkan dengan penelitian oleh Haryanto dkk. (2023) yang menerapkan konsep *Fuzzy Smart Reward* pada gim serius, di mana skor GEQ yang dihasilkan berada pada angka 3,3 [7].

Perbedaan skor ini mengindikasikan bahwa implementasi logika fuzzy Mamdani yang mengintegrasikan parameter persentase nyawa (HPK) dan waktu pengumpulan objektif (WMS) dalam penelitian ini mampu memberikan respon adaptif yang lebih tepat sasaran bagi pemain. Tingginya skor pada komponen *Positive Effect* dan *Competence* dalam penelitian ini juga selaras dengan temuan pada jurnal pembandingan, yang mengonfirmasi bahwa pemberian bantuan atau imbalan (reward) secara dinamis menggunakan logika fuzzy terbukti secara signifikan mampu mengurangi sifat monoton dalam permainan dibandingkan dengan sistem item atau imbalan yang bersifat statis.

Berdasarkan pengujian statistik terhadap data kuesioner pada Tabel 7, diperoleh nilai cronbach's alpha sebesar 0,89, yang menunjukkan bahwa instrumen penelitian memiliki tingkat reliabilitas

yang sangat tinggi. Selain itu, hasil pengujian menunjukkan nilai rata-rata keseluruhan sebesar 3,52 dengan standar deviasi sebesar 0,73. Rendahnya nilai standar deviasi ini menunjukkan bahwa persebaran persepsi responden terhadap sistem item dinamis bersifat konsisten dan stabil.

Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini telah berhasil menerapkan sistem kemunculan item secara dinamis menggunakan metode logika fuzzy Mamdani dalam gim "Guardian of Underwater" yang mampu menyesuaikan dengan kebutuhan serta kemampuan pemain. Implementasi sistem ini terbukti efektif dalam menciptakan pengalaman bermain yang adaptif dan memuaskan melalui penyeimbangan tantangan permainan, sehingga menghasilkan tingkat kompetensi pemain yang tinggi sebesar 79%, imersi kuat sebesar 77%, serta dominasi emosi positif mencapai 81%. Selain itu, hasil evaluasi menggunakan Game Experience Questionnaire (GEQ) dengan skor rata-rata sebesar 3,52 semakin mempertegas bahwa kehadiran sistem kemunculan item secara dinamis ini secara signifikan dapat membantu pemain dalam menyelesaikan setiap tantangan di dalam permainan.

Dalam penelitian ini masih terdapat banyak kekurangan yang dapat dikembangkan, maka terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan dan penelitian selanjutnya, yaitu Penelitian ini hanya menggunakan metode logika fuzzy Mamdani. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan dilakukan perbandingan dengan metode lain seperti fuzzy Sugeno atau Tsukamoto guna mengetahui metode yang paling optimal dalam menghasilkan system kemunculan item yang dinamis dan efisien secara komputasi

Daftar Pustaka

- [1] A. Triwibowo, "STRATEGI PENGELOLAAN EKOSISTEM TERUMBU KARANG DI WILAYAH PESISIR," *Jurnal Kelautan dan Perikanan Terapan (JKPT)*, vol. 1, p. 61, Jan. 2023, doi: 10.15578/jkpt.v1i0.12048.
- [2] Y. Zhang *et al.*, "Plastic waste discharge to the global ocean constrained by seawater observations," *Nat. Commun.*, vol. 14, no. 1, Dec. 2023, doi: 10.1038/s41467-023-37108-5.
- [3] L. Lazaridis and G. F. Fragulis, "Creating a Newer and Improved Procedural Content Generation (PCG) Algorithm with Minimal Human Intervention for Computer Gaming Development †," *Computers*, vol. 13, no. 11, Nov. 2024, doi: 10.3390/computers13110304.
- [4] A. Rizal, Y. P. Astuti, and A. Setiawan, "Tingkat Kesulitan Adaptif pada Android Game bertema Flora Fauna Endemik Indonesia dengan Fuzzy Logic," *Jurnal Buana Informatika*, vol. 13, no. 1, pp. 1–10, Apr. 2022, doi: 10.24002/jbi.v13i1.4946.
- [5] A. Hossein Khabbaz, M. Fateh, A. A. Pouyan, and M. Rezvani, "Designing a Serious Game for Children with Autism using Reinforcement Learning and Fuzzy Logic," *Technology Journal of Artificial Intelligence and Data Mining*, vol. 11, no. 3, pp. 375–390, 2023, doi: <https://doi.org/10.22044/jadm.2023.12638.2417>.
- [6] P. D. Paraschos and D. E. Koulouriotis, "Fuzzy Logic-Based Dynamic Difficulty Adjustment for Adaptive Game Environments," *Electronics (Switzerland)*, vol. 14, no. 1, Jan. 2025, doi: 10.3390/electronics14010146.
- [7] H. Haryanto, U. Rosyidah, A. Kardianawati, E. Z. Astuti, E. Dolphina, and R. Haryanto, "Fuzzy Smart Reward for Serious Game Activity Design," *Scientific Journal of Informatics*, vol. 10, no. 3, pp. 271–286, Jul. 2023, doi: 10.15294/sji.v10i3.44051.
- [8] A. Sanjaya, J. Wahyudi, and Y. Arliando, "Penerapan Logika Fuzzy Sugeno untuk Menentukan Reward pada Game Edukasi Platformer Berbasis Android," *MEANS (Media Informasi Analisa dan Sistem)*, vol. 6, no. 2, pp. 174–179, Jan. 2022, doi: 10.54367/means.v6i2.1529.
- [9] R. Leitão, M. Maguire, S. Turner, F. Arenas, and L. Guimarães, "Ocean literacy gamified: A systematic evaluation of the effect of game elements on students' learning experience," *Environ. Educ. Res.*, vol. 28, no. 2, pp. 276–294, Feb. 2022, doi: 10.1080/13504622.2021.1986469.
- [10] M. F. Dallaqua, B. Nunes, and M. M. Carvalho, "Serious games research streams for social change: Critical review and framing," *British Journal of Educational Technology*, vol. 55, no. 2, pp. 460–483, Mar. 2024, doi: <https://doi.org/10.1111/bjet.13404>.
- [11] "PENGEMBANGAN GAME EDUKASI BERBASIS ANDROID UNTUK PENGENALAN TOKOH PAHLAWAN NASIONAL INDONESIA", *JOISM*, vol. 6, no. 2, pp. 142–147, Jan. 2025, doi: 10.24076/joism.2025v6i2.1942.
- [12] C. Vohera, H. Chheda, D. Chouhan, A. Desai, and V. Jain, "Game Engine Architecture and Comparative Study of Different Game Engines," in *2021 12th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, IEEE, Jul. 2021, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICCCNT51525.2021.9579618.
- [13] C. Huang, Z. Zhang, B. Mao, and X. Yao, "An Overview of Artificial Intelligence Ethics," *IEEE Transactions on Artificial Intelligence*, vol. 4, no. 4, pp. 799–819, Aug. 2023, doi: 10.1109/TAI.2022.3194503.
- [14] D. Melhart, J. Togelius, B. Mikkelsen, C. Holmgård, and G. N. Yannakakis, "The Ethics of AI in Games," *IEEE Trans. Affect. Comput.*, vol. 15, no. 1, pp. 79–92, 2024, doi: 10.1109/TAFFC.2023.3276425.
- [15] S. N. Putri and D. R. S. Saputro, "Construction fuzzy logic with curve shoulder in inference system mamdani," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1776, no. 1, p. 012060, Feb. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1776/1/012060.
- [16] S. MSc. Suyanto, *Artificial Intelligence: Searching, Reasoning, Planning and Learning*, 3rd ed. 2021.