

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Video Game

Video game atau lebih sering disebut *game* adalah bentuk permainan elektronik yang dimainkan melalui perangkat keras dengan tujuan utama memberikan pengalaman hiburan interaktif. Dalam *game*, pemain dihadapkan pada berbagai tantangan yang harus diselesaikan untuk mencapai kondisi kemenangan. Sejarah awal *game* dapat ditelusuri ke tahun 1958, ketika fisikawan Willy Higinbotham menciptakan salah satu *game* pertama di Brookhaven National Laboratory, Upton, New York. *Game* tersebut menyerupai permainan tenis meja dan ditampilkan pada layar osiloskop, menandai awal perkembangan teknologi *game* interaktif. Secara umum, *game* dapat diklasifikasikan berdasarkan genre, seperti *action*, *adventure*, *strategy*, *Multiplayer Online Battle Arena* (MOBA), dan *Role-Playing Game* (RPG). Selain berdasarkan genre, *game* juga dapat dikategorikan berdasarkan perspektif kamera dan sudut pandang, seperti *top-down*, *first-person*, dan *third-person*, serta berdasarkan tema, seperti *game* bertema olahraga, edukasi, atau simulasi (Caesar, 2015).

2.1.1.1 Top-Down

Top-Down merupakan salah satu jenis *game* berdasarkan perspektif kamera, di mana pemain melihat area permainan dari atas, menciptakan tampilan *bird's-eye view*. Perspektif ini banyak digunakan dalam *game* strategi, puzzle, dan *game* berbasis ronde, karena memberikan gambaran menyeluruh terhadap lingkungan

permainan. Dalam perspektif ini, pemain mengontrol karakter atau avatar dari sudut pandang atas dengan kemiringan sekitar 45° – 50° , serta menghadapi serangkaian musuh dalam setiap ronde permainan (Pradana dkk., 2024).

Konsep utama dari perspektif ini adalah pemain dapat menembaki musuh dan bergerak dalam empat arah utama, yaitu atas, bawah, kiri, dan kanan. *game* dengan perspektif *top-down* biasanya dikendalikan dengan kontrol *in-game* untuk menembak, membidik, dan menggerakkan karakter (Pratama dkk., 2023).



Gambar 2.1 *Game The Legend of Zelda: A Link to the Past*

Salah satu contoh *game top-down* adalah *The Legend of Zelda: A Link to the Past*, sebagaimana ditampilkan pada gambar 2.1. Game ini merupakan *game top-down* dengan genre RPG. di mana pemain melakukan eksplorasi dan berperan sebagai karakter utama. Perspektif kamera dalam *game* ini sedikit miring ke atas dengan tampilan grafis piksel, memberikan pengalaman eksplorasi yang lebih luas bagi pemain. Selain *The Legend of Zelda*, *game top-down* juga berkembang ke

berbagai genre lain, seperti *top-down shooter* (Alvian dan Haryanto, 2024), *top-down action* (Pradana dkk., 2024), dan *top-down puzzle* (Pratama dkk., 2023). Meskipun genre-genre tersebut memiliki variasi tingkat kesulitan, umumnya belum diterapkan mekanisme DDA yang dapat menyesuaikan tingkat kesulitan berdasarkan performa pemain.

2.1.1.2 Skor

Skor dalam *game* merupakan nilai yang diperoleh pemain dan dapat dijadikan sebagai indikator tingkat keberhasilan dalam menyelesaikan tantangan yang terdapat pada permainan. Selain itu, skor dapat digunakan sebagai dasar dalam penentuan tingkat kesulitan permainan, sehingga baik pemain pemula maupun pemain berpengalaman dapat merasakan tantangan yang sesuai. Beberapa parameter umum yang digunakan dalam penilaian skor beserta contoh rumusnya antara lain sebagai berikut:

1. Waktu – parameter yang menentukan skor permainan bergantung pada konteksnya, apakah permainan lebih menekankan tempo cepat atau lambat.

Contoh rumus perhitungan waktu tertera pada persamaan 2.1.

$$Waktu(n) = \begin{cases} 100 * (1 - \left(\frac{t}{60}\right)); & 0 \leq t \leq 60 \\ 0; & t \geq 60 \end{cases} \quad (2.1)$$

2. *Health Point* (hp) – parameter yang umumnya menghasilkan skor lebih besar apabila hp pemain pada akhir ronde masih tinggi. Hal ini menunjukkan keterampilan pemain dalam menghindari serangan musuh. Contoh rumus perhitungan hp tertera pada persamaan 2.2.

$$HP(n) = 100 * (1 - \left(\frac{h}{100}\right)) \quad (2. 2)$$

3. Jumlah Musuh – parameter yang menentukan skor berdasarkan banyaknya musuh yang berhasil dikalahkan. Skor biasanya akan lebih besar seiring dengan semakin banyaknya musuh yang dapat ditaklukkan. Contoh rumus perhitungan musuh tertera pada persamaan 2.3.

$$JumlahMusuh(n) = (5 * Musuh) \quad (2. 3)$$

4. Skor biasanya diperoleh ketika pemain menyelesaikan suatu ronde permainan. Penilaian skor didasarkan pada ukuran objektif dari performa pemain dan dapat dihitung secara otomatis selama jalannya permainan. Contoh rumus perhitungan skor tertera pada persamaan 2.4.

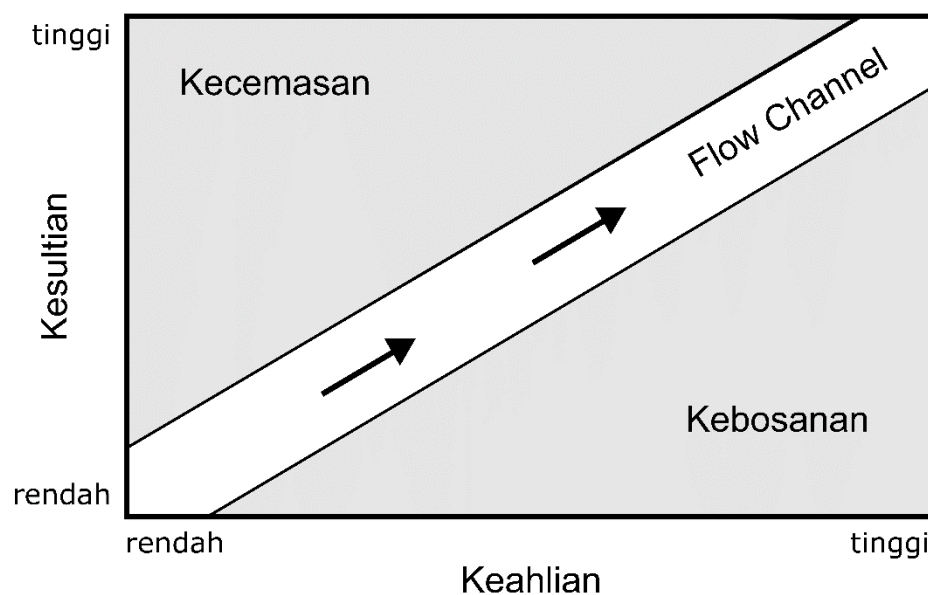
$$Skor(n) = Waktu(n) + HP(n) + Musuh(n) \quad (2. 4)$$

2.1.2 *Dynamic Difficulty Adjustment (DDA)*

Dynamic Difficulty Adjustment (DDA) adalah mekanisme yang menyesuaikan tingkat kesulitan permainan secara otomatis berdasarkan performa pemain dalam waktu nyata. Mekanisme ini dikembangkan untuk mengatasi ketimpangan pengalaman bermain yang disebabkan oleh perbedaan keterampilan pemain. Dalam penerapannya, DDA dapat menggunakan berbagai pendekatan, seperti *rule-based* dan *reinforcement learning* (Zohaib, 2018).

Menurut (Csikszentmihalyi, 1990) yang diilustrasikan pada gambar 2.2, keseimbangan antara tantangan dan keterampilan pemain sangat penting dalam menciptakan pengalaman bermain yang optimal. Jika tantangan terlalu sulit, pemain yang kurang berpengalaman dapat merasa cemas, sedangkan tantangan

yang terlalu mudah dapat membuat pemain mahir cepat merasa bosan. Ia memperkenalkan konsep *flow channel*, yaitu kondisi di mana pemain sepenuhnya terlibat dalam permainan tanpa merasa bosan atau cemas. Oleh karena itu, DDA berfungsi untuk menyesuaikan tingkat kesulitan permainan agar tetap berada dalam *flow channel*, yang dilakukan dengan cara meningkatkan kesulitan *game* untuk pemain mahir dan mengurangi kesulitan *game* untuk pemain yang kurang berpengalaman.



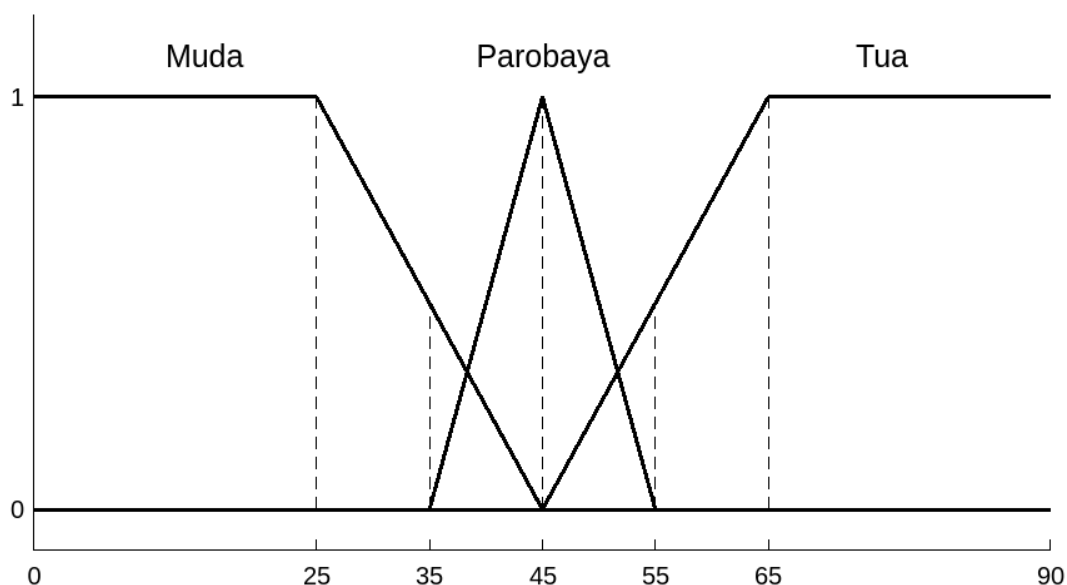
Gambar 2.2 *Theory of flow* oleh Mihaly Csikszentmihalyi

Beberapa *game* komersial telah mengadopsi konsep ini, salah satunya *Left 4 Dead*, yang menggunakan sistem kecerdasan buatan bernama *Director*. Sistem ini menyesuaikan elemen permainan seperti jumlah musuh, distribusi barang (*item*), dan intensitas tantangan berdasarkan performa pemain, sehingga pengalaman bermain tetap seimbang dan dinamis (Rogers, 2010).

2.1.3 Logika Fuzzy

Logika Fuzzy adalah pendekatan dalam teori himpunan yang dikembangkan oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965 untuk menangani ketidakpastian dan ambiguitas dalam pemrosesan data. Berbeda dengan logika klasik yang bersifat biner (0 atau 1), Logika Fuzzy memungkinkan nilai kebenaran berada dalam rentang kontinu antara 0 dan 1. Dengan demikian, konsep ini lebih fleksibel dalam merepresentasikan kondisi dunia nyata yang tidak selalu memiliki batasan tegas (Hellmann, 2001).

Logika Fuzzy memiliki beragam aplikasi dalam berbagai bidang, termasuk sistem pakar, *Internet of Things* (IoT), alat ukur, pengambilan keputusan, serta sistem penilaian dan evaluasi. Penerapannya sangat luas dalam industri, seperti di bidang kesehatan, ekonomi, psikologi, dan teknologi, karena sifatnya yang fleksibel dan mampu menangani ketidakpastian (Athiyah dkk., 2021).



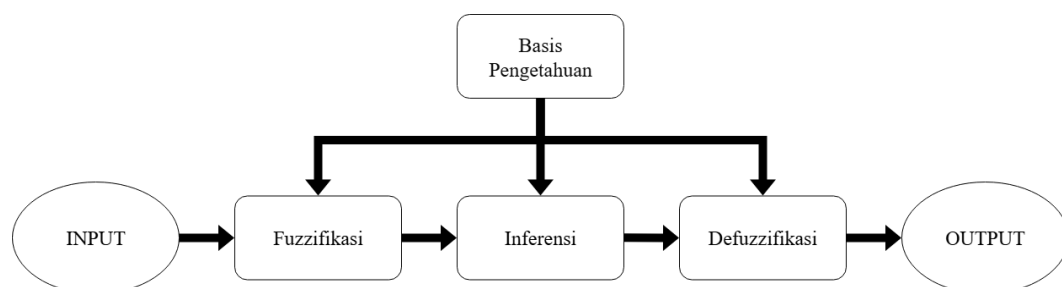
Gambar 2.3 Contoh representasi Logika Fuzzy pada variabel umur

Sebagai contoh, dalam sistem konvensional yang dapat dilihat pada gambar 2.3, seseorang dianggap tua jika telah mencapai usia 55 tahun. Namun, seseorang yang berusia 54 tahun 364 hari masih dikategorikan tidak tua atau parobaya. Logika Fuzzy memungkinkan pendekatan yang lebih gradual, misalnya dengan mengklasifikasikan individu tersebut sebagai "hampir tua" atau "agak parobaya". Prinsip serupa juga berlaku dalam berbagai aspek lain, seperti menentukan apakah seseorang berusia 35 tahun 1 hari dapat dikatakan "parobaya" atau "muda".

Menurut (Baskara, 2024), Logika Fuzzy memiliki beberapa keunggulan utama, di antaranya:

- a) Menggunakan logika yang mudah dimengerti dan berbasis bahasa alami.
- b) Fleksibel dan dapat diterapkan dalam berbagai sistem.
- c) Toleran terhadap data yang tidak tepat atau mengandung kesalahan.
- d) Dapat langsung menggunakan ilmu pakar tanpa proses pelatihan data.
- e) Berdasarkan konsep matematis yang sederhana namun efektif.

Dalam implementasinya, Logika Fuzzy terdiri dari beberapa tahapan utama agar sistem dapat bekerja secara optimal seperti tertera pada gambar 2.4 (Baskara, 2024):



Gambar 2.4 Alur Tahapan Logika Fuzzy

1. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan proses transformasi input numerik (*crisp*) menjadi nilai *input fuzzy* berbasis linguistik, seperti “rendah”, “sedang”, atau “tinggi”. Proses ini dilakukan dengan mendefinisikan variabel linguistik serta menerapkan fungsi keanggotaan (μ) untuk mengukur derajat keanggotaan suatu nilai dalam kategori tertentu.

2. Basis Pengetahuan

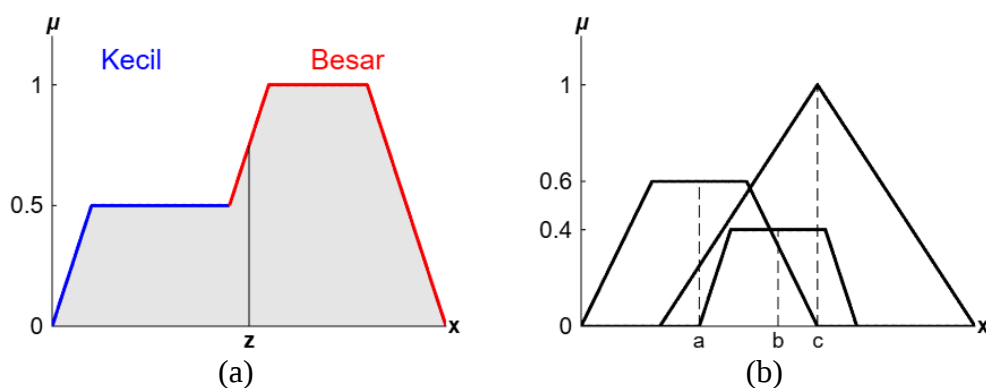
Tahap ini berisi kumpulan aturan dan data yang digunakan dalam sistem fuzzy. Basis pengetahuan terdiri atas aturan *IF-THEN* yang merepresentasikan hubungan antara *antecedent* (“jika”) dan *consequent* (“maka”), yang berfungsi untuk menentukan interaksi antarvariabel linguistik. Sementara itu, basis data berisi fungsi keanggotaan yang digunakan untuk menginterpretasikan nilai *input fuzzy*.

3. Inferensi

Sistem Inferensi Fuzzy merupakan kerangka komputasi yang dibangun berdasarkan aturan *IF-THEN* serta prinsip penalaran berbasis ketidakpastian untuk menghasilkan *output* sementara. Pada tahap ini, *input fuzzy* yang diperoleh dari proses fuzzifikasi dikombinasikan menjadi *output fuzzy*. Kombinasi antar *antecedent* dilakukan dengan menggunakan fungsi MIN pada relasi logika AND dan fungsi MAX pada relasi logika OR. Sistem Inferensi Fuzzy memiliki beberapa metode, di antaranya Mamdani, Sugeno, dan Tsukamoto, yang masing-masing digunakan sebagai kerangka komputasi dalam proses inferensi (Athiyah dkk., 2021).

4. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan tahap akhir yang mengubah beberapa *output fuzzy* yang dihasilkan dari proses inferensi dan agregasi menjadi nilai numerik konkret (*crisp output*). Beberapa metode umum yang digunakan antara lain *Centroid* serta *Weighted Average*. Pemilihan metode defuzzifikasi disesuaikan dengan sistem inferensi yang digunakan. Tujuan utama tahap ini adalah menghasilkan *output* numerik yang dapat langsung digunakan (Husain dkk., 2017).



Gambar 2.5 (a) Grafik *Centroid*, (b) Grafik *Weighted Average*

. Gambar 2.5 merupakan contoh ilustrasi grafik *Centroid* (a) dan *Weighted Average* (b). Metode *Centroid* merupakan salah satu teknik defuzzifikasi mampu menghasilkan nilai keluaran yang representatif terhadap keseluruhan himpunan fuzzy. Setelah proses inferensi selesai, seluruh nilai derajat keanggotaan pada bagian *consequent* dari setiap aturan digabungkan melalui proses agregasi menggunakan operator MAX. Selanjutnya, metode *Centroid* menghitung titik keseimbangan dari area di bawah kurva fungsi keanggotaan tersebut dengan mempertimbangkan luas dan posisi setiap nilai pada domain output. Secara matematis, proses ini dinyatakan dengan Persamaan 2.5 dengan pendekatan diskretisasi, di mana x merupakan nilai keluaran hasil defuzzifikasi, x_i adalah

variabel domain output sebelum defuzzifikasi, dan $\mu_c(x_i)$ menyatakan derajat keanggotaan dari masing-masing nilai x_i hasil agregasi seluruh aturan inferensi.

$$z \approx \frac{\sum_{i=1}^n \mu_c(x_i) * x_i}{\sum \mu_c(x_i)} \quad (2.5)$$

Metode *Weighted Average* merupakan teknik defuzzifikasi yang digunakan untuk memperoleh nilai keluaran crisp dengan menghitung rata-rata tertimbang dari nilai *consequent* setiap aturan fuzzy. Berbeda dengan metode *Centroid* yang memperhitungkan seluruh bentuk kurva fungsi keanggotaan output, metode *Weighted Average* hanya mempertimbangkan nilai puncak dari masing-masing himpunan fuzzy pada bagian *consequent* dan bobotnya ditentukan oleh nilai predikat hasil inferensi. Secara matematis, perhitungannya dinyatakan dalam Persamaan 2.6, di mana z menunjukkan nilai keluaran hasil defuzzifikasi, α_i menyatakan nilai predikat (derajat aktivasi) dari aturan ke- i yang diperoleh setelah melalui tahap evaluasi pada bagian *antecedent*., dan x_i merupakan nilai *consequent* atau keluaran dari masing-masing aturan fuzzy.

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i * x_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \quad (2.6)$$

2.1.3.1 Sistem Inferensi Fuzzy Mamdani

Fuzzy Mamdani merupakan salah satu sistem inferensi fuzzy yang paling banyak digunakan, khususnya pada sistem kendali dengan *output* yang bersifat tidak pasti. Metode ini pertama kali dikembangkan oleh Prof. Ebrahim Mamdani pada tahun 1975 ketika merancang sistem kendali untuk mengatur kombinasi mesin uap dan *boiler*. Pada umumnya, Fuzzy Mamdani menggunakan metode implikasi dengan operator *AND* melalui fungsi *Min* serta agregasi menggunakan fungsi *Max*

untuk menentukan tingkat kekuatan berlakunya suatu aturan berdasarkan nilai *input* fuzzy. Pendekatan Fuzzy Mamdani memiliki keunggulan karena relatif mudah dipahami; aturan serta *output*-nya menyerupai pola penalaran linguistik manusia dalam pengambilan keputusan. Dalam tahap defuzzifikasi, Fuzzy Mamdani menggunakan metode *Centroid* dengan pendekatan diskretisasi seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.5.

2.1.3.2 Sistem Inferensi Fuzzy Sugeno

Fuzzy Sugeno merupakan salah satu metode sistem inferensi fuzzy yang banyak digunakan, khususnya pada sistem kendali dengan *output* berupa nilai tegas (*crisp value*). Metode ini dikembangkan oleh Takagi, Sugeno, dan Kang pada tahun 1985. Metode Fuzzy Sugeno mengadopsi aturan *fuzzy* yang memungkinkan pemodelan sistem nonlinier melalui pendekatan berbasis aturan. Dalam metode ini, ruang *input* dibagi ke dalam beberapa himpunan *fuzzy*, sedangkan *output* direpresentasikan menggunakan persamaan linier pada Sugeno orde ke-1. Pendekatan tersebut menjadikan Fuzzy Sugeno lebih efisien dalam pemrosesan, menghasilkan keluaran yang bervariasi, serta lebih mudah diimplementasikan pada sistem *real-time* (Baskara, 2024). Dalam tahap defuzzifikasi, Fuzzy Sugeno menggunakan metode *Weighted Average* seperti ditunjukkan oleh rumus pada Persamaan 2.6.

2.1.3.3 Sistem Inferensi Fuzzy Tsukamoto

Fuzzy Tsukamoto merupakan salah satu sistem inferensi fuzzy yang umum digunakan pada sistem kendali yang membutuhkan *output* berupa nilai tegas, namun tetap dapat ditelusuri aturan yang mendasarinya. Metode ini dikembangkan

oleh Prof. Yoshikazu Tsukamoto pada tahun 1979. Fuzzy Tsukamoto memiliki ketentuan bahwa *consequent* harus direpresentasikan dalam bentuk fungsi keanggotaan monoton, yaitu fungsi linier naik atau linier turun. Pendekatan ini efektif karena setiap aturan secara langsung menghasilkan *output* tegas, sehingga proses maupun hasilnya bersifat transparan dan mudah ditelusuri. Tahapan defuzzifikasi pada Fuzzy Tsukamoto, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan 2.6, dilakukan menggunakan metode *Weighted Average* yang juga digunakan pada Fuzzy Sugeno.

2.1.4 Godot

Godot adalah *game engine open-source* lintas platform yang dirilis di bawah lisensi MIT dan dapat digunakan secara gratis tanpa biaya lisensi atau royalti. Godot dirancang untuk mengembangkan game 2D dan 3D pada berbagai platform seperti PC, mobile, web, hingga konsol. *Engine* ini memiliki bahasa pemrograman internal bernama GDScript, yang mirip dengan Python dan ramah bagi pemula karena sintaksnya sederhana dan memungkinkan pengembangan yang lebih cepat. Godot juga mendukung bahasa lain seperti C#, C++, dan Python, serta dilengkapi dengan fitur modern seperti simulasi fisika, animasi, rendering berbasis fisika, dan editor interaktif. Meskipun unggul dalam pengembangan game 2D dan menawarkan antarmuka yang sederhana, Godot masih memiliki keterbatasan dalam pengembangan 3D serta dokumentasi yang kurang ramah bagi pemula jika dibandingkan dengan *Unity*. Dukungan komunitasnya juga relatif lebih kecil, namun sifat *open-source* dan kemudahan penggunaannya tetap menjadikan Godot sebagai pilihan, khususnya untuk pengembang individu (Mohd dkk., 2023).

2.1.5 Android

Android adalah sistem operasi berbasis Linux yang dirancang khusus untuk perangkat seluler seperti *smartphone* dan tablet. Sistem ini menyediakan lapisan perangkat lunak yang lengkap, mulai dari kernel hingga aplikasi. Salah satu keunggulan utama Android adalah keluwesannya dalam mendukung berbagai jenis perangkat keras melalui penggunaan *Hardware Abstraction Layer* (HAL). HAL berfungsi sebagai antarmuka antara perangkat keras dan *framework* Android, memungkinkan sistem operasi untuk berkomunikasi dengan perangkat keras tanpa bergantung langsung pada implementasi spesifiknya (Ye, 2017).

Perbandingan antara Android dengan sistem operasi lain dapat ditinjau dari tingkat fleksibilitas sistem yang ditawarkannya. Android memiliki struktur direktori yang relatif lebih terbuka, seperti direktori *data* dan *storage*, yang memungkinkan pengguna maupun pengembang untuk mengakses serta memodifikasi file dengan lebih leluasa dibandingkan dengan sistem operasi yang bersifat lebih tertutup. Keterbukaan ini memberikan kemudahan dalam pengelolaan data, pengembangan aplikasi, serta penyesuaian sistem sesuai dengan kebutuhan pengguna. Dalam menghadapi tantangan terkait manajemen kapasitas penyimpanan dan kecepatan akses data, Android mengimplementasikan struktur direktori berbasis sistem operasi Linux serta mendukung penggunaan sistem berkas *ext4* yang dikenal memiliki kinerja baik dalam efisiensi penyimpanan, stabilitas, dan kemampuan pemulihan data. Penerapan teknologi tersebut memungkinkan Android untuk mengelola data secara lebih optimal, terutama pada perangkat dengan keterbatasan sumber daya. Oleh karena itu, Android dinilai lebih sesuai bagi

pengguna yang membutuhkan tingkat fleksibilitas yang tinggi dalam pengelolaan data dan perangkat, baik untuk keperluan penggunaan sehari-hari maupun pengembangan aplikasi (Clarita dkk., 2024).

2.1.6 Evaluasi Metrik

Dalam pemodelan regresi, evaluasi metrik digunakan sebagai ukuran kuantitatif untuk menilai sejauh mana hasil estimasi model mampu mendekati nilai aktual. Evaluasi ini penting agar model yang dibangun tidak hanya sesuai secara konseptual, tetapi juga memiliki performa yang dapat diandalkan saat diterapkan. Metrik evaluasi berperan sebagai indikator objektif untuk membandingkan kinerja model, mengidentifikasi tingkat kesalahan prediksi, serta memahami karakteristik error yang dihasilkan. Secara umum, metrik prediksi mengukur selisih antara nilai sebenarnya dengan nilai hasil perhitungan algoritma, di mana selisih tersebut merepresentasikan tingkat kesalahan prediksi.

Salah satu metrik evaluasi yang umum digunakan adalah *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). MAPE mengukur rata-rata kesalahan absolut dalam bentuk persentase terhadap nilai aktual, sehingga hasil evaluasi mudah dipahami tanpa harus mengetahui skala data yang digunakan. Metrik ini banyak digunakan karena memberikan interpretasi yang intuitif terhadap tingkat kesalahan model. Namun demikian, MAPE memiliki keterbatasan, yaitu tidak dapat digunakan ketika nilai aktual bernilai nol karena akan menghasilkan perhitungan yang tidak terdefinisi. Rumus perhitungan MAPE ditunjukkan pada Persamaan 2.7.

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \quad (2.7)$$

2.2 State-of-the-art (Sota)

Bagian ini menyajikan gambaran penelitian-penelitian terkini yang membahas penerapan DDA dalam *game*, termasuk metode, tujuan, serta hasil yang telah dicapai. Pembahasan ini bertujuan untuk memberikan wawasan mengenai bagaimana penelitian sebelumnya dapat menjadi dasar bagi penelitian ini. pada tabel 2.1 dipaparkan *state-of-the-art* dari penelitian ini.

Tabel 2.1 State-of-the-art Penelitian

No	Nama Penelitian		Tujuan Penelitian	Hasil Penelitian
1	Nama Peneliti	David Saputra Octadianto Soedargo, Hartarto Junaedi (2022)	Mengintegrasikan DDA berbasis Logika Fuzzy dengan PCG pada permainan roguelike untuk menghasilkan tingkat kesulitan yang dinamis sesuai dengan keterampilan pemain.	Dari 30 responden, 80% pemain memiliki tingkat kepuasan yang lebih baik ketika memainkan <i>game</i> dengan tingkat kesulitan yang dinamis dibandingkan dengan tingkat kesulitan yang statis.
	Judul	Dynamic Difficulty Adjustment Berbasis Logika Fuzzy Untuk Procedural Content Generation Pada Permainan Roguelike		
	Algoritma/ Metode	Logika Fuzzy dan Procedural Content Generation (PCG)		
2	Nama Peneliti	Wira Mahadhika Alphatora, Pratama Wiryat Atmaja, Firza Prima Aditiawan (2021)	Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan <i>game</i> edukasi bertema kebersihan sungai yang memanfaatkan teknologi <i>Augmented Reality</i> (AR) dan menerapkan metode DDA untuk menyesuaikan tingkat kesulitan permainan sesuai dengan kemampuan pemain.	Berdasarkan uji kelayakan yang dilakukan melalui kuesioner kepada 20 responden, <i>game</i> "River Guard" memperoleh <i>score</i> kelayakan sebesar 80,9%. Hasil ini menunjukkan bahwa <i>game</i> edukasi tersebut masuk dalam kategori layak dan dapat digunakan sebagai media edukasi yang menarik dan interaktif.
	Judul	Game Edukasi "River Guard" Berbasis Augmented Reality dengan Metode Dynamic Difficulty Adjustment		
	Algoritma/ Metode	<i>Heuristic</i> (Manual)		

No	Nama Penelitian		Tujuan Penelitian	Hasil Penelitian
3	Nama Peneliti	Ahmad Rizal, Yani Parti Astuti, Abas Setiawan (2022)	Mengembangkan <i>game</i> edukasi berbasis Android yang bertema flora dan fauna endemik Indonesia dengan tingkat kesulitan adaptif sesuai kemampuan pemain, guna meningkatkan kesadaran masyarakat tentang perlindungan flora dan fauna endemik.	Hasil pengujian menunjukkan bahwa Logika Fuzzy Sugeno dapat membuat 35 keputusan yang sesuai dari 50 kali percobaan.
	Judul	Tingkat Kesulitan Adaptif pada Android Game bertema Flora Fauna Endemik Indonesia dengan Fuzzy Logic		
	Algoritma/ Metode	Logika Fuzzy Sugeno		
4	Nama Peneliti	Rio Andriyat Krisdiawan, Tito Sugiharto, Nunu Nugraha (2023)	Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan <i>game</i> berbasis mobile sebagai media terapi rehabilitasi bagi penderita disleksia. <i>game</i> ini diharapkan dapat menyesuaikan tingkat kesulitan sesuai dengan kebutuhan dan kecepatan belajar pemain, sehingga meningkatkan efektivitas terapi.	Implementasi DDA berbasis Fuzzy Sugeno berdasarkan <i>User Acceptance Testing</i> (UAT) terhadap 80% dari 5 responden menyatakan bahwa <i>user interface</i> serta menu-menu aplikasi sangat menarik bagi anak-anak disleksia.
	Judul	Terapi Rehabilitasi Dyslexia Berbasis Mobile Game dengan Dynamic Difficulty Adjustment (DDA) Menggunakan Algoritma Fuzzy Sugeno		
	Algoritma/ Metode	Fuzzy Sugeno		
5	Nama Peneliti	Kadhana Reya Wisinggya, Hanny Haryanto, T. Sutojo, Edy Mulyanto, Erlin Dolphina (2021)	Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan logika fuzzy dalam penyesuaian tingkat kesulitan dinamis pada permainan musik tradisional Jawa Tengah. Dengan demikian, permainan meningkatkan keterlibatan dan pengalaman bermain.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan logika fuzzy efektif dalam menyesuaikan tingkat kesulitan permainan musik. Permainan dapat mengikuti kemampuan pemain berdasarkan aturan yang diberikan, sehingga menciptakan pengalaman bermain yang lebih adaptif dan menarik.
	Judul	Tingkat Kesulitan Dinamis Menggunakan Logika Fuzzy pada Game Musik Tradisional Jawa Tengah		
	Algoritma/ Metode	Fuzzy Tsukamoto		

No	Nama Penelitian		Tujuan Penelitian	Hasil Penelitian
6	Nama Peneliti	Arby Azyumardi Azra, Ardiawan Bagus Harisa (2024)	Mengembangkan permainan aksi FPS dengan kontrol gerakan menggunakan sensor giroskop pada smartphone, serta menerapkan Logika Fuzzy untuk menyesuaikan tingkat kesulitan musuh berdasarkan kinerja pemain.	Dari 14 responden, 90,5% mengalami penyesuaian tingkat kesulitan di setiap level yang disesuaikan oleh permainan. Meskipun pengalaman setiap responden berbeda, sebagian besar dapat memainkan permainan secara intuitif tanpa meminta bantuan.
	Judul	Alternating Sword Controller in First-Person Action Game using Fuzzy Logic for Adaptive Enemy		
	Algoritma/ Metode	Logika Fuzzy		
7	Nama Peneliti	Fardani Annisa Damastuti, Kenan Firmansyah, Yunif A. Miftachul Arif, Titon Dutono, Aliridho Barakbah, Mochamad Hariadi (2024)	Mengembangkan sistem penyesuaian tingkat kesulitan dinamis (DDA) dengan mengintegrasikan Logika Fuzzy dan Q-learning untuk meningkatkan keterlibatan dan kepuasan pemain dalam permainan manajemen serius.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan DDA yang diterapkan berhasil meningkatkan efisiensi pemain sebesar 28%. Selain itu, durasi sesi permainan rata-rata meningkat sebesar 35%, menunjukkan bahwa pemain lebih terlibat dan tertarik untuk terus bermain.
	Judul	Dynamic Level of Difficulties Using Q-Learning and Fuzzy Logic		
	Algoritma/ Metode	Q-Learning dan Logika Fuzzy		
8	Nama Peneliti	Rika Jane Ardiadna dan Abas Setiawan (2023)	Penelitian ini bertujuan untuk menyediakan edukasi mitigasi bencana gempa bumi melalui permainan yang menerapkan penyesuaian tingkat kesulitan adaptif menggunakan algoritma Fuzzy Mamdani, sehingga dapat meningkatkan keterlibatan pemain dengan memberikan tantangan	Hasil implementasi algoritma Fuzzy Mamdani pada <i>game</i> dapat dilihat pada <i>playtesting</i> yang dilakukan oleh 20 pemain, di mana setiap stage memiliki kecepatan yang berbeda. Dalam <i>playtesting</i> , tingkat kesulitan minimum yang diperoleh adalah 5, dan tingkat kesulitan adaptif maksimum yang diperoleh adalah 28,36.
	Judul	Adaptive Difficulty in Earthquake Mitigation Game Using Fuzzy Mamdani		
	Algoritma/ Metode	Logika Fuzzy Mamdani		

No	Nama Penelitian		Tujuan Penelitian	Hasil Penelitian
			yang sesuai dengan kemampuan mereka.	
9	Nama Peneliti	Nicholas Fisher, Arun K. Kulshreshth (2024)	Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi teknik DDA dalam permainan video, dengan memanfaatkan metrik kinerja dan respons emosional yang dikumpulkan dari sensor fisiologis.	Penelitian ini tidak mengidentifikasi strategi DDA tunggal yang paling efektif, menunjukkan bahwa efek berbagai metode DDA terhadap kinerja pemain dan persepsi permainan yang dilaporkan sendiri bervariasi.
	Judul	Exploring Dynamic Difficulty Adjustment Methods for Video Games		
	Algoritma/ Metode	<i>Heuristic</i> (Manual)		
10	Nama Peneliti	Pedro Lobo, Rodrigo Lima, Diogo Branco, Sergi Bermúdez i Badia (2024)	Mengembangkan dan mengevaluasi <i>Flow Optimizer Framework</i> (FOF), sistem DDA berbasis biofeedback yang menyesuaikan tingkat kesulitan <i>game</i> serius untuk neurorehabilitasi guna mempertahankan keterlibatan pemain.	FOF dapat menyesuaikan kesulitan berdasarkan detak jantung pemain. Hasil dari studi kegunaan mengungkapkan bahwa FOF memiliki <i>score</i> kegunaan yang dirasakan tinggi ($84,64 \pm 10,85$) dibandingkan dengan studi sebelumnya.
	Judul	Flow Optimizer: A Dynamic Difficulty Adjustment Framework for Serious Games in Neurorehabilitation		
	Algoritma/ Metode	Sistem DDA berbasis biofeedback (<i>Heuristic</i>)		
11	Nama Peneliti	Katerina Chrysafiadi, Margaritis Kamitsios, Maria Virvou (2023)	Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan mekanisme DDA berbasis Logika Fuzzy dalam permainan 3D edukatif yang mengajarkan bahasa pemrograman HTML. Mekanisme ini dirancang sehingga dapat meningkatkan efektivitas pembelajaran dan keterlibatan pemain.	Implementasi mekanisme DDA berbasis logika fuzzy menunjukkan bahwa penyesuaian dinamis tingkat kesulitan permainan sesuai dengan keterampilan individu pemain dapat meningkatkan efektivitas pembelajaran dan keterlibatan pemain.
	Judul	Fuzzy-based Dynamic Difficulty Adjustment of an Educational 3D- <i>game</i>		
	Algoritma/ Metode	Logika Fuzzy		

No	Nama Penelitian		Tujuan Penelitian	Hasil Penelitian
12	Nama Peneliti	Edwin A. Romero-Mendez, dkk. (2023)	Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan keterlibatan pemain dalam permainan video dengan menerapkan DDA yang didasarkan pada klasifikasi keterampilan pemain menggunakan teknik <i>deep learning</i> .	Pendekatan yang diusulkan berhasil menyesuaikan tingkat kesulitan permainan secara real-time, sehingga DDA mengimprovisasi <i>gameplay</i> dan meningkatkan keterlibatan pemain hingga 90% pemain melaporkan bahwa mereka sangat puas.
	Judul	The Use of Deep Learning to Improve Player Engagement in a Video Game through a Dynamic Difficulty Adjustment Based on Skills Classification		
	Algoritma/ Metode	<i>Deep Learning</i>		
13	Nama Peneliti	Panagiotis D. Paraschos, Dimitrios E. Koulouriotis (2025)	Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem penyesuaian tingkat kesulitan dinamis berbasis Logika Fuzzy yang dapat menyesuaikan tantangan dalam permainan secara adaptif pada <i>game space shooter</i> berdasarkan performa pemain.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode yang diterapkan mampu menyesuaikan tingkat kesulitan secara efektif, memberikan tantangan yang seimbang bagi pemain dalam mendefinisikan perilaku pada lingkungan permainan dan musuh
	Judul	Fuzzy Logic-Based Dynamic Difficulty Adjustment for Adaptive Game Environments		
	Algoritma/ Metode	Logika Fuzzy Mamdani		
14	Nama Peneliti	Jaya Pranata, Eko Mulyanto Yuniarno, Supeno Mardi Susiki, Herman Thuan (2016)	Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan suatu sistem penilaian skor yang dinamik untuk mengetahui tingkat kemampuan pemain. Dimana hasil skor yang dihasilkan digunakan untuk menentukan tingkat kesulitan permainan yang sesuai tingkat kemampuan pemain	Hasil penelitian menampilkan bahwa penggunaan <i>rule-rule</i> banyak pada Logika Fuzzy membuat perhitungan hasil defuzzifikasi tidak sesuai harapan. Dimana metode yang cukup akurat untuk menangannya adalah dengan fuzzy sugeno dengan persentase 98%.
	Judul	DDA Berbasis Logika Fuzzy untuk Menentukan Skor Pada Game Petualangan		
	Algoritma/ Metode	Logika Fuzzy Mamdani, Sugeno, Tsukamoto		

No	Nama Penelitian		Tujuan Penelitian	Hasil Penelitian
15	Nama Peneliti	Chineng Vang (2022)	Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi bagaimana DDA mempengaruhi pengalaman pemain dalam video <i>game</i> , dengan mempertimbangkan bahwa DDA dapat meningkatkan keterlibatan pemain, tetapi juga dapat mengurangi kepuasan jika tidak diterapkan dengan tepat.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa DDA memiliki pengaruh yang beragam terhadap pengalaman bermain, di mana DDA dapat meningkatkan keterlibatan pemain, tetapi juga dapat mengurangi kepuasan jika tidak diterapkan dengan tepat.
	Judul	The Impact of Dynamic Difficulty Adjustment on Player Experience in Video Games		
	Algoritma/ Metode	Monte Carlo Tree Search dan Reinforcement Learning		
16	Nama Peneliti	Andrew J.A. Seyderhelm, Karen L. Blackmore (2024)	Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pelatihan pengawasan adaptif dinamis dalam lingkungan virtual. Sistem ini menyesuaikan tingkat kesulitan berdasarkan beban kognitif dan kinerja peserta secara real-time, dengan tujuan meningkatkan efektivitas pelatihan dan kemampuan pengawasan peserta.	Implementasi sistem menunjukkan bahwa penyesuaian tingkat kesulitan berdasarkan beban kognitif dan kinerja real-time dapat meningkatkan efektivitas pelatihan pengawasan dalam lingkungan virtual. Peserta menunjukkan peningkatan kemampuan pengawasan setelah mengikuti pelatihan dengan sistem ini.
	Judul	Dynamic Adaptive Surveillance Training in a Virtual Environment Using Real-Time Cognitive Load and Performance		
	Algoritma/ Metode	<i>Machine Learning</i>		
17	Nama Peneliti	Raúl Daniel García-Ramón, Ericka Janet Rechy-Ramirez, Luz María Alonso-Valerdi, Antonio Marin-Hernandez (2024)	Penelitian ini bertujuan untuk menentukan apakah ada perbedaan signifikan dalam keterlibatan pemain antara dua mode permainan dengan penyesuaian tingkat kesulitan yang berbeda: mode <i>non-tailored</i> (tanpa penyesuaian	Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan dalam keterlibatan pemain antara kedua mode permainan tersebut. Ini menunjukkan bahwa penyesuaian tingkat kesulitan dinamis yang
	Judul	Engagement Analysis Using Electroencephalography Signals in Games for Hand Rehabilitation		

No	Nama Penelitian		Tujuan Penelitian	Hasil Penelitian
		with Dynamic and Random Difficulty Adjustments	khusus) dan mode <i>tailored</i> (dengan penyesuaian khusus).	disesuaikan dengan kemampuan individu tidak secara signifikan mempengaruhi tingkat keterlibatan pemain dibandingkan dengan penyesuaian acak.
	Algoritma/ Metode	<i>Heuristic</i> (Manual)		

2.3 Matriks Penelitian

Bagian ini menyajikan matriks penelitian yang merangkum berbagai studi terkait penerapan DDA dalam *game*. Matriks ini mencakup aspek-aspek seperti cara kerja *game* untuk menerapkan DDA, platform yang dimainkan pada *game*, perspektif *game*, serta algoritma yang digunakan. Penyajian dalam bentuk matriks bertujuan untuk mempermudah perbandingan antar penelitian sebelumnya dengan penelitian yang akan dilakukan serta mengidentifikasi kesenjangan yang dapat diisi dan kontribusi yang dapat diberikan oleh penelitian ini dalam pengembangan DDA pada *game*. Tabel 2.2 dipaparkan matriks dari penelitian ini.

Tabel 2.2 Matriks Penelitian

No	Nama Peneliti	Evaluasi DDA		Basis Platform		Perspektif Kamera				Algoritma				
		Algorithm	Engagement	PC	Mobile	First Person	Third Person	Top-Down	Side-Scroller	Heuristic	Fuzzy Mamdani	Fuzzy Sugeno	Fuzzy Tsukamoto	Learning
1	David Saputra Octadianto Soedargo, Hartarto Junaedi (2022)		✓	✓				✓				✓		
2	Wira Mahadhika Alphatora, Pratama Wirya Atmaja, Firza Prima Aditiawan (2021)		✓		✓		✓			✓				

No	Nama Peneliti	Evaluasi DDA		Basis Platform		Perspektif Kamera				Algoritma				
		Algorithm	Engagement	PC	Mobile	First Person	Third Person	Top-Down	Side-Scroller	Heuristic	Fuzzy Mandani	Fuzzy Sugeno	Fuzzy Tsukamoto	Learning
3	Ahmad Rizal, Yani Parti Astuti, Abas Setiawan (2022)	✓			✓	✓						✓		
4	Rio Andriyat Krisdiawan, Tito Sugiharto, Nunu Nugraha (2023)		✓		✓	✓						✓		
5	Kadhana Reya Wisinggya, Hanny Haryanto, T. Sutojo, Edy	✓			✓				✓				✓	

No	Nama Peneliti	Evaluasi DDA		Basis Platform		Perspektif Kamera				Algoritma				
		Algorithm	Engagement	PC	Mobile	First Person	Third Person	Top-Down	Side-Scroller	Heuristic	Fuzzy Mandani	Fuzzy Sugeno	Fuzzy Tsukamoto	Learning
	Mulyanto, Erlin Dolphina (2021)													
6	Arby Azyumardi Azra, Ardiawan Bagus Harisa (2024)		✓	✓		✓					✓			
7	Fardani Annisa Damastuti, Kenan Firmansyah, Yunif A. Miftachul Arif, Titon		✓	✓		✓					✓			✓

No	Nama Peneliti	Evaluasi DDA		Basis Platform		Perspektif Kamera				Algoritma				
		Algorithm	Engagement	PC	Mobile	First Person	Third Person	Top-Down	Side-Scroller	Heuristic	Fuzzy Mandani	Fuzzy Sugeno	Fuzzy Tsukamoto	Learning
	Dutono, Aliridho Barakbah, Mochamad Hariadi (2023)													
8	Rika Jane Ardiadna dan Abas Setiawan (2023)	✓	✓		✓				✓		✓			
9	Nicholas Fisher, Arun K. Kulshreshth (2024)	✓		✓		✓				✓				
10	Pedro Lobo, Rodrigo	✓		✓		✓				✓				

No	Nama Peneliti	Evaluasi DDA		Basis Platform		Perspektif Kamera				Algoritma				
		Algorithm	Engagement	PC	Mobile	First Person	Third Person	Top-Down	Side-Scroller	Heuristic	Fuzzy Mandani	Fuzzy Sugeno	Fuzzy Tsukamoto	Learning
	Lima, Diogo Branco, Sergi Bermúdez i Badia (2024)													
11	Katerina Chrysafiadi, Margaritis Kamitsios, Maria Virvou (2023)			✓			✓				✓			
12	Edwin A. Romero-Mendez, dkk. (2023)		✓	✓				✓						✓
13	Panagiotis D. Paraschos, Dimitrios E.			✓				✓			✓			

No	Nama Peneliti	Evaluasi DDA		Basis Platform		Perspektif Kamera				Algoritma				
		Algorithm	Engagement	PC	Mobile	First Person	Third Person	Top-Down	Side-Scroller	Heuristic	Fuzzy Mandani	Fuzzy Sugeno	Fuzzy Tsukamoto	Learning
	Koulouriotis (2025)													
14	Jaya Pranata, Eko Mulyanto Yuniarno, Supeno Mardi Susiki, Herman Thuan (2016)	✓		✓					✓		✓	✓	✓	
15	Chineng Vang (2022)		✓	✓		✓				✓				✓
16	Andrew J.A. Seyderhelm, Karen L. Blackmore (2024)			✓		✓				✓				

No	Nama Peneliti	Evaluasi DDA		Basis Platform		Perspektif Kamera				Algoritma				
		Algorithm	Engagement	PC	Mobile	First Person	Third Person	Top-Down	Side-Scroller	Heuristic	Fuzzy Mandani	Fuzzy Sugeno	Fuzzy Tsukamoto	Learning
17	Raúl Daniel García-Ramón, Ericka Janet Rechy-Ramirez, Luz María Alonso-Valerdi, Antonio Marin-Hernandez (2024)		✓	✓		✓				✓				
Usulan Penelitian		✓			✓			✓			✓	✓	✓	

Berdasarkan analisis matriks perbandingan, penelitian ini memiliki kemiripan dengan (Soedargo dan Junaedi, 2022), (Paraschos dan Koulouriotis, 2025), serta (Pranata, 2016) dalam penerapan Logika Fuzzy untuk *Dynamic Difficulty Adjustment* (DDA) pada

permainan digital. Namun, penelitian ini berbeda karena berfokus pada platform *mobile*, menambahkan evaluasi metrik berupa MAPE untuk mengukur tingkat kesalahan, serta menggunakan kombinasi parameter berupa waktu, hp, dan jumlah musuh yang jarang diterapkan sebelumnya. Perbedaan ini menegaskan kontribusi penelitian dalam memperkaya penerapan Logika Fuzzy untuk DDA pada permainan digital.