

**IMPLEMENTASI SISTEM ADAPTASI OTOMATIS KUALITAS GRAFIS
PADA GAME EDUKASI *TRASH TYCOON* MENGGUNAKAN
METODE *FUZZY MAMDANI***

SKRIPSI

**Oleh:
FARROS ASADUDIN MILZAM
NIM. 220605110097**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

**IMPLEMENTASI SISTEM ADAPTASI OTOMATIS KUALITAS GRAFIS
PADA GAME EDUKASI *TRASH TYCOON* MENGGUNAKAN
METODE *FUZZY MAMDANI***

SKRIPSI

Diajukan kepada:
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)

Oleh:
FARROS ASADUDIN MILZAM
NIM. 220605110097

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

HALAMAN PERSETUJUAN

IMPLEMENTASI SISTEM ADAPTASI OTOMATIS KUALITAS GRAFIS PADA GAME EDUKASI *TRASH TYCOON* MENGGUNAKAN METODE *FUZZY MAMDANI*

SKRIPSI

Oleh :
FARROS ASADUDIN MILZAM
NIM. 220605110097

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal: 24 April 2026

Pembimbing I,

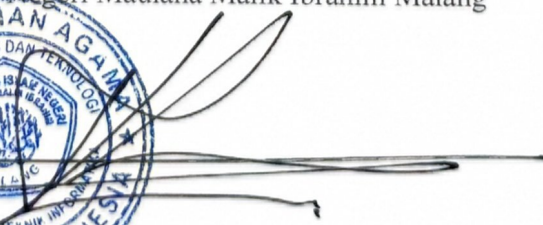

Ahmad Fahmi Karami, M.Kom
NIP. 198709092020121001

Pembimbing II,


Dr. Totok Chamidy, M.Kom
NIP. 19691222 200604 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang




Sudiyono, M.Kom
NIP. 19841010 201903 1 012

HALAMAN PENGESAHAN

IMPLEMENTASI SISTEM ADAPTASI OTOMATIS KUALITAS GRAFIS PADA GAME EDUKASI *TRASH TYCOON* MENGGUNAKAN METODE *FUZZY MAMDANI*

SKRIPSI

Oleh :
FARROS ASADUDIN MILZAM
NIM. 220605110097

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)
Tanggal: 05 Mei 2026

Susunan Dewan Penguji

Ketua Penguji	: <u>Prof. Dr. Ir. Muhammad Faisal, M.T</u> NIP. 19740510 200501 1 007	()
Anggota Penguji I	: <u>Fatchurrohman, M.Kom</u> NIP. 19700731 200501 1 002	()
Anggota Penguji II	: <u>Ahmad Fahmi Karami, M.Kom</u> NIP. 19870909 202012 1 001	()
Anggota Penguji III	: <u>Dr. Totok Chamidy, M.Kom</u> NIP. 19691222 200604 1 001	()

Mengetahui dan Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang




Sudhono, M. Kom
NIP. 19841010 201903 1 012

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Farros Asadudin Milzam
NIM : 220605110097
Fakultas / Program Studi : Sains dan Teknologi / Teknik Informatika
Judul Skripsi : Implementasi Sistem Adaptasi Otomatis Kualitas
Grafis Pada Game Edukasi *Trash Tycoon*
Menggunakan Metode *Fuzzy Mamdani*

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini merupakan hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 05 Mei 2026

Yang membuat pernyataan,



Farros Asadudin Milzam

NIM. 220605110097

MOTTO

*“Don't give up. Look for a new angle.”
- Tadashi Hamada (Big Hero 6) -*

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa ta'ala atas segala limpahan anugerah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar. Tak lupa, shalawat serta salam selalu tercurah kepada Nabi Muhammad Shalallaahu 'Alaihi Wasallam yang telah menata kehidupan umat manusia menuju zaman kebenaran yang penuh dengan cahaya ilahi. Halaman persembahan ini dirangkai sebagai wujud syukur dan terima kasih penulis atas semua pihak yang telah berkontribusi dalam riset Trash Tycoon ini hingga selesai sempurna.

Karya ini penulis persembahkan kepada Ibu dan Bapak tercinta yang senantiasa memanjatkan do'a suci serta memberikan dukungan, kasih sayang, dan pengorbanan yang tak terhingga. Tidak lupa, kepada seluruh keluarga besar yang sangat penulis cintai yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatian dalam setiap langkah perancangan game penulis. Kontribusi dan dukungan tulus mereka menjadi kekuatan besar yang mendorong penulis hingga mencapai garis keberhasilan pada penyelesaian naskah skripsi ini.

Persembahan ini juga turut penulis sampaikan kepada seluruh Dosen UIN Maliki dalam memberikan ilmu, bimbingan, kritik dan saran, serta bantuan yang menjadi landasan utama pada proses akademik penulis. Ucapan terima kasih juga penulis utarakan kepada rekan-rekan seperjuangan yang senantiasa menemani dalam menghadapi error dan bug, memberikan dukungan, serta menjadi wadah bertukar ide dan berbagi solusi selama proses penelitian ini berlangsung.

Sebagai penutup, penulis persembahkan karya ini untuk diri sendiri sebagai bentuk penghargaan atas dedikasi, ketahanan, dan semangat yang terus dijaga hingga logika Fuzzy Mamdani dapat diselesaikan dengan mulus. Keinginan untuk terus bertahan, berinovasi, dan memperbaiki kualitas diri merupakan elemen terpenting dalam perjalanan penulis. Penghargaan ini diharapkan menjadi motivasi untuk senantiasa maju dan menciptakan teknologi ramah lingkungan di masa depan kelak.

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa ta'ala atas rahmat, taufik, dan hidayah-Nya yang selalu menyertai setiap langkah penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Atas kemampuan yang diberikan oleh Allah Subhanahu wa ta'ala kepada penulis untuk menempuh perjalanan yang cukup panjang ini sehingga karya yang berjudul “Implementasi Sistem Adaptasi Otomatis Kualitas Grafis Pada Game Edukasi Trash Tycoon Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani” dapat terwujud sesuai dengan waktu yang telah ditetapkan.

Proses penyusunan penelitian ini membawa penulis melalui berbagai tahapan yang cukup kompleks, mulai dari perancangan game edukasi, pengembangan sistem kecerdasan buatan, analisis hasil performa frame rate, hingga tahap akhir penulisan yang penuh dinamika. Beragam pengalaman yang dilalui memberikan banyak pelajaran, di mana setiap kendala menjadi sarana untuk meningkatkan ketekunan, dan setiap dukungan menjadi sumber kekuatan bagi penulis. Berkat kontribusi dan perhatian dari berbagai pihak, skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Untuk itu, penulis dengan segala kerendahan hati menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si., selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

3. Supriyono, M. Kom, selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Ahmad Fahmi Karami, M.Kom., dan Dr. Totok Chamidy, M. Kom., selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing sekaligus memberikan arahan, saran, dan motivasi dengan penuh kebasaran kepada penulis sehingga bisa menuntaskan skripsi ini.
5. Prof. Dr. Muhammad Faisal, M.T., dan Fatchurrohman, M.Kom., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun selama proses penulisan skripsi ini berlangsung.
6. Nia Faricha, S.Si., selaku admin Program Studi Teknik Informatika, atas waktu dan tenaganya dalam memberikan bantuan, informasi, dan dukungan administratif dari proses awal masa studi hingga proses penyusunan skripsi ini terselesaikan.
7. Seluruh dosen, laboran, dan staf Program Studi Teknik Informatika, atas ilmu, bimbingan, semangat, dan dukungan yang diberikan kepada penulis selama masa studi.
8. Bapak saya, Solehuddin dan Ibu saya, Sumiyati, terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala do'a, motivasi, kasih sayang, dan segala bentuk usaha yang tak terhingga yang menjadi sumber kekuatan serta inspirasi bagi penulis. Segala perhatian dan dukungan yang diberikan menjadi landasan penulis untuk tetap kuat dan terus berjuang dalam menyelesaikan masa pendidikan hingga akhir.

9. Teman-teman masa SMA “Road to Ranu Kumbolo 2026”, yaitu Adit, Ana, Aura, Habib, Maya, Sekar, dan Wira. Terima kasih atas segala kebersamaan, canda tawa, bantuan, serta motivasi yang diberikan sejak sekolah hingga saat ini. Momen bermain, nongkrong, dan *healing* bersama kalian selalu menjadi cara terbaik bagi penulis untuk menyegarkan pikiran di tengah penatnya menyusun naskah skripsi ini. Semoga kesuksesan selalu mengiringi langkah kita semua dan pertemanan ini dapat terus terjalin dengan baik ke depannya.
10. Teman-teman “Kontrakan Penghuni Surga”, yaitu Adi, Alfred, Abyan, Gumilang, Syamsul, Fajar, Fahry, Rama, Rheza, Afif, Maulana, Muzakky, serta seluruh teman yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Karya ini penulis persembahkan untuk kalian yang selama ini menjadi sumber kekuatan, semangat, dan motivasi bagi penulis. Terima kasih atas kebersamaannya dalam situasi suka maupun duka.
11. Seluruh warga Program Studi Teknik Informatika, khususnya Angkatan 2022 “Infinity”, terima kasih atas kebersamaan, motivasi, pengalaman, dan dukungan yang diberikan kepada penulis selama masa perkuliahan.
12. Teruntuk diri penulis pribadi, terima kasih karena telah memilih untuk terus bertahan, berjuang, dan menolak untuk menyerah pada keadaan. Menyadari bahwa proses penyelesaian skripsi ini penuh dengan rintangan dan tidak selalu berjalan mulus, keberanian untuk terus melangkah maju adalah sebuah pencapaian yang sangat berharga. Harapannya, segala kebaikan dan kemudahan akan senantiasa mengiringi setiap fase kehidupan serta langkah

penulis di masa depan. Dalam penyusunan naskah ini, penulis menyadari sepenuhnya bahwa hasil penelitian ini masih memiliki berbagai keterbatasan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, segala bentuk kritik serta saran yang membangun sangat penulis nantikan demi penyempurnaan dan pengembangan riset di masa yang akan datang. Akhir kata, semoga karya ini tidak hanya memberikan wawasan baru bagi para pembaca, melainkan juga mampu membawa manfaat dan sumbangsih positif bagi masyarakat luas.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Malang, 2026

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvi
ABSTRAK	xvii
ABSTRACT	xviii
مستخلص البحث.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	7
BAB II STUDI PUSTAKA	8
2.1 Penelitian Terkait	8
2.2 Visual Game dan Kualitas Grafis.....	12
2.3 Resolusi dalam Game.....	13
2.4 Rendering dalam Game.....	14
2.5 Logika <i>Fuzzy</i>	16
2.5.1 <i>Fuzzy mamdani</i>	18
2.6 Pengujian Sistem Adaptif Berbasis Performa	19
BAB III DESAIN DAN IMPLEMENTASI	21
3.1 Desain Penelitian.....	21
3.2 Rancangan Game	22
3.2.1 Konsep Game.....	22
3.3 Perancangan Sistem <i>Fuzzy mamdani</i>	24
3.3.1 Arsitektur Sistem <i>Fuzzy</i>	28
3.3.2 Variabel <i>Fuzzy</i>	31
3.3.3 Basis Aturan <i>Fuzzy</i> (Rule Base)	41
3.3.4 Proses Implikasi dan Defuzzifikasi.....	42
3.3.5 Contoh Perhitungan	44
3.4 Desain Pengujian Sistem.....	47
3.4.1 Pengujian Kesesuaian Output Sistem	48
3.4.2 Pengujian Stabilitas Performa Game	49
3.4.3 Pengukuran Lag pada Permainan	50
3.4.4 Pengukuran Tingkat Kenyamanan Bermain	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	52

4.1 Implementasi Game Trash Tycoon	52
4.1.1 Tampilan Game.....	53
4.1.2 Integrasi Sistem Adaptasi Grafis	57
4.2 Hasil Implementasi Sistem <i>Fuzzy</i>	59
4.2.1 Hasil Output <i>Fuzzy</i>	60
4.3 Implementasi Output <i>Fuzzy</i> pada Game	63
4.3.1 Penerapan Kualitas Grafis pada Game	63
4.3.2 Hasil Pengujian Grafis	65
4.3.3 Perbandingan Tampilan Grafis	67
4.4 Analisis Stabilitas FPS	71
4.4.1 Analisis Grafik FPS	72
4.4.2 Kriteria Stabilitas FPS	74
4.4.3 Analisis Perbandingan Pengujian dengan dan tanpa Sistem	75
4.5 Integrasi Dalam Islam	77
4.5.1 Muamalah Ma'a Allah	78
4.5.2 Muamalah Ma'a An-Nas	79
4.5.3 Muamalah Ma'al Bi'ah.....	80
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	82
5.1 Kesimpulan	82
5.2 Saran	83
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Desain Penelitian.....	21
Gambar 3.2 Progressive Gameplay Loop Trash Tycoon.....	24
Gambar 3.3 Flowchart Sistem Adaptasi Grafis.....	26
Gambar 3.4 Arsitektur Sistem Adaptasi Grafis.....	29
Gambar 3.5 Variabel CPU	33
Gambar 3.6 Variabel FPS	36
Gambar 3.7 Variabel Grafis (Output)	39
Gambar 3.8 Agregasi Output dan Centroid (Defuzzifikasi)	46
Gambar 4. 1 Tampilan Menu Utama.....	53
Gambar 4.2 Tampilan Gameplay	54
Gambar 4.3 UI dalam Gameplay	55
Gambar 4.4 Tampilan Panduan Klasifikasi Sampah.....	55
Gambar 4.5 Tampilan Gameplay Yang Telah Terintegrasi Dengan Sistem Adaptasi Grafis	57
Gambar 4.6 Debug Log Proses Sistem	58
Gambar 4.7 Kondisi Gameplay Pada Laptop 1	61
Gambar 4.8 Perhitungan Fuzzy Dalam Gameplay.....	62
Gambar 4.9 Quality Settings Pada Unity	64
Gambar 4.10 Bayangan pada grafik High.....	68
Gambar 4.11 Bayangan pada grafik Medium	68
Gambar 4.12 Bayangan pada grafik Low	68
Gambar 4.13 Warna pada Grafik High	69
Gambar 4.14 Warna pada Grafik Medium.....	69
Gambar 4.15 Warna pada Grafik Low	69
Gambar 4.16 Tekstur pada Grafik High.....	70
Gambar 4.17 Tekstur pada Grafik Medium	70
Gambar 4.18 Tekstur pada Grafik Low	71
Gambar 4.19 Grafik Low	72
Gambar 4.20 Grafik Medium.....	73
Gambar 4.21 Grafik High	73
Gambar 4.22 Perbandingan FPS Menggunakan Sistem dan Tanpa Sistem.....	76

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terkait	8
Tabel 3.1 Variabel Dan Himpunan Fuzzy Pada Sistem Adaptasi Grafis.....	31
Tabel 3.2 Basis Aturan Fuzzy mamdani untuk Adaptasi Grafis.....	41
Tabel 3.3 Perhitungan Fuzzifikasi	44
Tabel 3.4 Evaluasi aturan (operator AND = min).....	45
Tabel 3.5 Perhitungan Implikasi	45
Tabel 3.6 Perhitungan Luas (A) dan Momen (M).....	45
Tabel 3.7 Skor Kenyamanan	51
Tabel 4.1 Data Uji Coba Output Fuzzy.....	60
Tabel 4.2 Data Hasil Uji Coba Grafis	66

ABSTRAK

Milzam, Farros Asadudin. 2026. **Implementasi Sistem Adaptasi Otomatis Kualitas Grafis pada Game Edukasi *Trash Tycoon* Menggunakan Metode *Fuzzy Mamdani***. Skripsi. Jurusan Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Ahmad Fahmi Karami, M.Kom. (II) Dr. Totok Chamidy, M. Kom.

Kata kunci: Adaptasi Grafis, *Frame Rate*, *Fuzzy Mamdani*, Game Edukasi, *Trash Tycoon*.

Perbedaan spesifikasi perangkat keras sering kali menyebabkan penurunan performa hingga menyentuh 5-8 FPS bagi pemain saat memainkan *game* pada perangkat berspesifikasi rendah tanpa adanya penyesuaian. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem adaptasi otomatis kualitas grafis pada *game* edukasi *Trash Tycoon* menggunakan kecerdasan buatan dengan metode *Fuzzy Mamdani*. Sistem bekerja secara otomatis saat memuat *gameplay scene* dengan membaca dua parameter input utama, yaitu *CPU Time* dan *Frame Per Second* (FPS). Data masukan diproses menggunakan algoritma *Fuzzy Mamdani* untuk menghasilkan *output* Kualitas Grafis (*Low*, *Medium*, *High*) yang langsung diterapkan pada *Quality Settings* di dalam *Unity Engine*. Pengembangan sistem ini turut diintegrasikan dengan nilai-nilai keislaman melalui edukasi pelestarian lingkungan (*Muamalah Ma'al Bi'ah*) serta pemberian kemudahan (*Yusr*) bagi para pengguna. Berdasarkan hasil pengujian pada lima spesifikasi perangkat keras berbeda, sistem terbukti responsif menyesuaikan grafis dan mampu menjaga stabilitas *gameplay* di atas *baseline* 30 FPS.

ABSTRACT

Milzam, Farros Asadudin. 2026. **Implementation of Automatic Graphic Quality Adaptation System in Trash Tycoon Educational Game Using Mamdani Fuzzy Method.** Undergraduate Thesis. Department of Informatics Engineering, Faculty of Science and Technology, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisors: (I) Ahmad Fahmi Karami, M.Kom. (II) Dr. Totok Chamidy, M. Kom.

Differences in hardware specifications often cause performance degradation, dropping to 5-8 FPS for players when playing games on low-specification devices without any adjustments. This research aims to design and implement an automatic graphic quality adaptation system in the Trash Tycoon educational game using artificial intelligence with the Mamdani Fuzzy method. The system works automatically when loading the gameplay scene by reading two main input parameters, namely CPU Time and Frames Per Second (FPS). The input data is processed using the Mamdani Fuzzy algorithm to produce Graphic Quality output (Low, Medium, High) which is directly applied to the Quality Settings in the Unity Engine. The development of this system is also integrated with Islamic values through environmental preservation education (Muamalah Ma'al Bi'ah) and providing convenience (Yusr) for users. Based on the test results on five different hardware specifications, the system has proven to be responsive in adjusting graphics and capable of maintaining gameplay stability above the 30 FPS baseline.

Keywords: Graphic Adaptation, Frame Rate, Mamdani Fuzzy, Educational Game, Trash Tycoon.

مستخلص البحث

ميلز، فاروس أسعد الدين. 2026. تنفيذ نظام التكيف التلقائي لجودة الرسومات في اللعبة التعليمية (Trash Tycoon) باستخدام طريقة ممداني الضبابية (Fuzzy Mamdani) بحث جامعي. قسم هندسة المعلوماتية، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف: (1) أحمد فهمي كرامي، الماجستير (2). الدكتور توتوك حميدي، الماجستير.

الكلمات المفتاحية: تكيف الرسومات، معدل الإطارات، ممداني الضبابية، لعبة تعليمية، Trash Tycoon.

غالبًا ما تؤدي الاختلافات في مواصفات الأجهزة إلى انخفاض الأداء حتى يصل إلى 5-8 إطارات في الثانية (FPS) للاعبين عند ممارسة الألعاب على أجهزة ذات مواصفات منخفضة دون أي تعديلات. يهدف هذا البحث إلى تصميم وتنفيذ نظام التكيف التلقائي لجودة الرسومات في اللعبة التعليمية Trash Tycoon باستخدام الذكاء الاصطناعي مع طريقة ممداني الضبابية (Fuzzy Mamdani). يعمل النظام تلقائيًا عند تحميل مشهد اللعب (Gameplay Scene) عن طريق قراءة اثنين من معلمات الإدخال الرئيسية، وهما وقت وحدة المعالجة المركزية (CPU Time) ومعدل الإطارات في الثانية (FPS). تتم معالجة بيانات الإدخال باستخدام خوارزمية ممداني الضبابية لإنتاج مخرجات جودة الرسومات (منخفضة، متوسطة، عالية) والتي يتم تطبيقها مباشرة على إعدادات الجودة (Quality Settings) في محرك يونيتي (Unity Engine). تم دمج تطوير هذا النظام أيضًا مع القيم الإسلامية من خلال التثقيف في مجال الحفاظ على البيئة (معاملة مع البيئة) وتوفير السهولة (اليسر) للمستخدمين. بناءً على نتائج الاختبار على خمس مواصفات مختلفة للأجهزة، أثبت النظام استجابته في ضبط الرسومات وقدرته على الحفاظ على استقرار اللعب فوق خط الأساس البالغ 30 إطارًا في الثانية.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi digital yang pesat dalam beberapa dekade terakhir telah mendorong pertumbuhan industri game baik secara global maupun nasional. Game kini tidak hanya berfungsi sebagai sarana hiburan, tetapi juga berkembang menjadi media edukasi yang interaktif dan menyenangkan (Nodira & Qizi, 2023). Game edukasi memiliki potensi besar dalam menyampaikan pesan moral, pengetahuan, dan keterampilan melalui mekanisme permainan yang menarik dan imersif (Chebotareva et al., 2020). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa game edukasi mampu meningkatkan motivasi belajar serta pemahaman peserta didik, khususnya dalam bidang pendidikan dan pelestarian lingkungan (Pertiwi et al., 2024). Dengan manfaat tersebut, pengembangan game edukasi menjadi salah satu bidang yang layak diteliti sebagai media pembelajaran inovatif di era digital.

Seiring dengan kemajuan teknologi, game modern telah berkembang dengan tampilan grafis yang semakin realistis dan kompleks, mulai dari detail tekstur, pencahayaan dinamis, hingga efek visual yang memanjakan mata. Kualitas grafis yang baik berperan penting dalam menciptakan *immersive experience* yang membuat pemain merasa seolah berada di dalam dunia permainan (Okur et al., 2024). Sebaliknya, jika kualitas grafis buruk, pengalaman bermain akan terganggu, seperti munculnya rasa tidak nyaman, penurunan daya tarik visual, bahkan berkurangnya nilai edukasi yang ingin disampaikan. Saat ini, standar grafis terus meningkat dengan hadirnya *game engine* seperti *Unity* dan *Unreal Engine* yang

memungkinkan pengembang menciptakan tampilan visual yang lebih interaktif dan realistis. Oleh karena itu, kualitas grafis menjadi salah satu aspek penting yang harus diperhatikan dalam merancang game edukasi agar pesan pembelajaran dapat tersampaikan dengan optimal (Volynets et al., 2023).

Perbedaan spesifikasi perangkat menyebabkan perbedaan performa dalam menjalankan game, khususnya pada nilai frame rate (FPS) yang dihasilkan. Penelitian (Stanik & Miłosz, 2025) menunjukkan bahwa perangkat dengan spesifikasi tinggi mampu mempertahankan kestabilan FPS meskipun menggunakan kualitas grafis tinggi, sedangkan perangkat kelas menengah mengalami penurunan hingga puluhan FPS saat kualitas grafis dinaikkan, yang menunjukkan adanya gap performa yang signifikan antar perangkat.

Selain yang disebutkan sebelumnya FPS rendah dan lag terbukti menurunkan kenyamanan bermain. Pada penelitian (Liu et al., 2023) menemukan bahwa peningkatan FPS minimum dari 25 FPS menjadi 55 FPS mampu meningkatkan Quality of Experience (QoE) pemain dari 2,5 menjadi 4,0, menandakan bahwa rendahnya FPS berpengaruh langsung terhadap kualitas pengalaman pengguna. Hal ini menjadi persoalan penting terutama pada game edukasi, di mana kenyamanan visual berpengaruh terhadap daya fokus dan efektivitas pembelajaran.

Di sisi lain, pengaturan grafis secara manual menuntut pemahaman teknis yang tidak selalu dimiliki oleh pengguna awam, sehingga proses penyesuaian ini sering menjadi beban tambahan yang dapat mengurangi kenyamanan pemain dan menciptakan kesenjangan pengalaman bermain antar pengguna. Oleh karena itu,

dibutuhkan sebuah sistem adaptasi kualitas grafis otomatis yang mampu menyesuaikan tampilan visual game berdasarkan kemampuan perangkat secara mandiri agar setiap pengguna, baik dengan spesifikasi rendah maupun tinggi, tetap memperoleh pengalaman bermain yang optimal.

Untuk mengatasi perbedaan kemampuan perangkat tersebut, diperlukan sebuah sistem yang mampu menyesuaikan kualitas grafis secara otomatis sesuai kondisi perangkat yang digunakan pemain. Sistem ini bekerja dengan cara mendeteksi performa perangkat melalui parameter tertentu, seperti kecepatan prosesor dan stabilitas frame rate, kemudian melakukan penyesuaian pengaturan grafis tanpa perlu intervensi manual dari pemain (Cheng & Bai, 2019). Pendekatan otomatis ini menjadi penting karena sebagian besar pemain awam kurang memahami istilah teknis dalam pengaturan grafis, misalnya anti-aliasing, shadow resolution, dan texture quality.

Jika pengaturan tersebut dilakukan secara manual, sering kali menimbulkan kebingungan atau bahkan hasil yang tidak optimal. Dengan adanya sistem adaptasi otomatis, setiap perangkat dapat menampilkan kualitas visual yang sesuai dengan kemampuannya. Perangkat berspesifikasi rendah tetap dapat menjalankan game dengan lancar tanpa gangguan *lag* atau *crash*, sementara perangkat berspesifikasi tinggi memperoleh pengalaman visual yang maksimal. Hal ini menjadikan pendekatan otomatis lebih sederhana, inklusif, dan ramah pengguna karena secara langsung mengoptimalkan pengalaman bermain tanpa menambah beban teknis bagi pemain (Sepulveda et al., 2020).

Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem adaptasi kualitas grafis otomatis menggunakan metode *Fuzzy mamdani*, yang dipilih karena mampu memproses data yang tidak pasti dan menghasilkan keputusan yang lebih realistis dalam menentukan pengaturan visual (Ramdani et al., 2025). Parameter utama yang digunakan adalah kecepatan prosesor (CPU) dan frame per second (FPS), keduanya merepresentasikan performa perangkat dalam menjalankan game. Data dari parameter ini diproses melalui inferensi *fuzzy* untuk menentukan kualitas grafis yang sesuai, kemudian hasilnya langsung diintegrasikan ke dalam *Unity Quality Settings*. Dengan cara ini, sistem memungkinkan penyesuaian grafis berjalan secara otomatis, sehingga perangkat berspesifikasi rendah tetap dapat memainkan game dengan lancar, sementara perangkat berspesifikasi tinggi memperoleh kualitas visual yang lebih maksimal tanpa perlu pengaturan manual dari pemain (Krisdiawan et al., 2020).

Penelitian ini akan memberikan kontribusi nyata bagi perkembangan teknologi game edukasi. Sistem adaptasi grafis otomatis yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai solusi teknis, tetapi juga menjadi inovasi yang memperluas aksesibilitas game sehingga dapat dinikmati oleh berbagai kalangan pengguna (Joddrell & Astell, 2019). Bagi pengembang, penelitian ini menghadirkan kerangka penerapan sistem adaptasi grafis yang dapat digunakan kembali pada proyek lain, sehingga mempercepat proses pengembangan. Sementara itu, bagi masyarakat secara umum, penelitian ini membantu mengurangi kesenjangan digital dengan menghadirkan pengalaman bermain yang setara di berbagai perangkat, sehingga

nilai edukasi yang dibawa oleh game tetap dapat tersampaikan tanpa terhalang oleh keterbatasan teknologi (Jerman Blažič, 2019).

Selain manfaat teknis, penelitian ini juga memiliki landasan nilai keislaman yang kuat. Islam memandang bahwa setiap usaha manusia seharusnya tidak hanya berorientasi pada hasil duniawi, tetapi juga selaras dengan ajaran agama yang menekankan kemaslahatan, kebermanfaatan, dan kemudahan bagi umat. Prinsip kemudahan dalam Islam menjadi salah satu dasar penting yang senantiasa dijunjung tinggi, agar manusia tidak terbebani oleh kesulitan yang melampaui kemampuannya.

Hal ini sebagaimana firman Allah SWT dalam Surah Al-Baqarah ayat 185:

شَهْرُ رَمَضَانَ الَّذِي أُنْزِلَ فِيهِ الْقُرْآنُ هُدًى لِّلنَّاسِ وَبَيِّنَاتٍ مِّنَ الْهُدَىٰ وَالْفُرْقَانِ ۚ فَمَنْ شَهِدَ مِنْكُمُ الشَّهْرَ فَلْيَصُمْهُ ۖ وَمَنْ كَانَ مَرِيضًا أَوْ عَلَىٰ سَفَرٍ فَعِدَّةٌ مِّنْ أَيَّامٍ أُخَرَ ۗ يُرِيدُ اللَّهُ بِكُمُ الْيُسْرَ وَلَا يُرِيدُ بِكُمُ الْعُسْرَ وَلِتُكْمِلُوا الْعِدَّةَ وَلِتُكَبِّرُوا اللَّهَ عَلَىٰ مَا هَدَاكُمْ وَلَعَلَّكُمْ تَشْكُرُونَ ﴿١٨٥﴾

“Bulan Ramadan adalah (bulan) yang di dalamnya diturunkan Al-Qur’an sebagai petunjuk bagi manusia dan penjelasan-penjelasan mengenai petunjuk itu serta pembeda (antara yang hak dan yang batil). Oleh karena itu, siapa di antara kamu hadir (di tempat tinggalnya atau bukan musafir) pada bulan itu, berpuasalah. Siapa yang sakit atau dalam perjalanan (lalu tidak berpuasa), maka (wajib menggantinya) sebanyak hari (yang ditinggalkannya) pada hari-hari yang lain. Allah menghendaki kemudahan bagimu dan tidak menghendaki kesukaran. Hendaklah kamu mencukupkan bilangannya dan mengagungkan Allah atas petunjuk-Nya yang diberikan kepadamu agar kamu bersyukur.” (Q.S. Al-Baqarah: 185).

Menurut tafsir Quraish Shihab (M. Quraish, 2000), ayat ini menegaskan bahwa syariat Islam diturunkan dengan penuh rahmat dan tidak dimaksudkan untuk memberatkan manusia. Kewajiban berpuasa misalnya tetap memberi keringanan bagi orang yang sakit atau dalam perjalanan, sehingga prinsip kemudahan selalu dijaga. Pesan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan, di mana sistem adaptasi

otomatis grafis dirancang untuk memudahkan pemain memperoleh kualitas visual terbaik tanpa terbebani pengaturan teknis yang rumit. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menyelesaikan persoalan teknis, tetapi juga merefleksikan nilai keislaman yang menekankan kemudahan, inklusivitas, dan kebermanfaatan bagi semua kalangan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah penelitian ini adalah bagaimana mengimplementasikan metode *Fuzzy mamdani* untuk menyesuaikan kualitas grafis secara otomatis pada game *Trash Tycoon*.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menjaga penelitian tetap fokus dan tidak melebar dari tujuan yang telah ditetapkan, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Analisis sistem adaptasi kualitas grafis hanya menggunakan CPU dan FPS sebagai parameter input utama, di mana FPS merepresentasikan performa grafis perangkat yang mencerminkan kemampuan GPU.
2. Implementasi dan pengujian sistem hanya dilakukan pada game edukasi *Trash Tycoon* sebagai studi kasus, sehingga hasil penelitian tidak digeneralisasikan untuk game lain.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengimplementasikan metode *Fuzzy mamdani* dalam sistem adaptasi kualitas grafis pada game edukasi *Trash Tycoon*, agar mampu menyesuaikan tingkat kualitas grafis secara dinamis berdasarkan

parameter CPU dan FPS. Dengan sistem ini, game diharapkan dapat berjalan lancar pada perangkat berspesifikasi rendah maupun tinggi serta memberikan pengalaman bermain yang optimal tanpa memerlukan pengaturan manual dari pemain.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu di bidang kecerdasan buatan, khususnya dalam penerapan metode *Fuzzy mamdani* untuk sistem adaptasi kualitas grafis pada game. Hasil penelitian ini dapat menjadi model implementasi yang dapat dijadikan acuan dalam pengembangan game lain yang memerlukan penyesuaian kualitas grafis berdasarkan kemampuan perangkat.

Selain itu, penelitian ini berkontribusi dalam menciptakan pengalaman bermain yang lebih optimal dan inklusif, di mana pemain dengan perangkat berspesifikasi rendah tetap dapat menikmati permainan dengan lancar, sedangkan pemain dengan perangkat berspesifikasi tinggi memperoleh tampilan visual terbaik. Temuan ini juga memberikan solusi praktis bagi pengembang game dalam merancang produk yang interaktif, ramah pengguna, dan dapat diakses oleh berbagai kalangan, khususnya pada pengembangan game edukasi seperti *Trash Tycoon*.

BAB II STUDI PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Pada Tabel 2.1 menunjukkan daftar penelitian terkait yang memiliki kesamaan dan perbedaan dengan penelitian yang sedang dilakukan.

Tabel 2.1 Penelitian Terkait

No.	Peneliti	Judul Penelitian	Metode	Perbedaan
1.	(Tan & Riwinoto, 2023)	<i>Analysis Optimization of Game "X" Performance on The Android Platform</i>	Optimasi Performa (<i>ing & Profiling</i>)	Penelitian ini menggunakan analisis performa game melalui pengukuran <i>frame rate</i> , konsumsi daya, dan efisiensi prosesor untuk meningkatkan performa pada platform Android. Fokusnya pada <i>optimasi manual performa game</i> , bukan pada sistem adaptasi otomatis kualitas grafis seperti penelitian ini yang mengimplementasikan <i>Fuzzy mamdani</i> untuk penyesuaian grafis dinamis berbasis CPU dan FPS.
2.	(Paraschos & Koulouriotis, 2025)	<i>Fuzzy Logic-Based Dynamic Difficulty Adjustment for Adaptive Game Environments</i>	<i>Fuzzy Logic, Dynamic Difficulty Adjustment (DDA)</i>	Penelitian ini menerapkan logika <i>fuzzy</i> untuk menyesuaikan tingkat kesulitan permainan secara otomatis berdasarkan performa pemain. Berbeda dengan penelitian ini yang menggunakan <i>Fuzzy mamdani</i> untuk menyesuaikan kualitas grafis secara otomatis sesuai kemampuan perangkat, bukan tingkat kesulitan.
3.	(Shi, 2025)	<i>Fuzzy Logic-based Input Evaluation Method for Interactive Systems</i>	<i>Fuzzy mamdani-Input Evaluation (Computer Vision)</i>	Menggunakan <i>fuzzy logic</i> untuk mengevaluasi input dan sensitivitas dalam sistem interaktif 2D berbasis <i>computer vision</i> guna meningkatkan kecepatan respon dan akurasi desain interaktif. Sementara penelitian ini menerapkan <i>Fuzzy mamdani</i> untuk menyesuaikan kualitas grafis dalam game, bukan evaluasi input visual atau interaksi pengguna.

No.	Peneliti	Judul Penelitian	Metode	Perbedaan
4.	(Zhao et al., 2023)	<i>Optimization of Game Improvement and Data Analysis Model via Deep Learning</i>	<i>Deep Learning (DL-CNN GIADA Model)</i>	Penelitian ini menggunakan model Deep Learning untuk optimasi desain game edukasi berbasis data dan peningkatan pengalaman belajar. Berbeda dengan penelitian ini yang berfokus pada sistem adaptasi grafis otomatis berbasis <i>Fuzzy mamdani</i> untuk menjaga performa dan kualitas visual di game edukasi.
5.	(Fedotova et al., 2023)	<i>Research on Calculation Optimization Methods Used in Computer Games Development</i>	Optimasi Algoritma (Culling, LODs, Nanite System, Level Streaming)	Penelitian ini meninjau berbagai metode optimasi perhitungan pada <i>game engine Unreal Engine</i> seperti Distance Culling, Occlusion Culling, dan Nanite System untuk meningkatkan performa rendering. Berbeda dengan penelitian ini yang menggunakan <i>Fuzzy mamdani</i> untuk membuat sistem adaptasi kualitas grafis otomatis, bukan sekadar optimasi statis berbasis metode <i>engine</i> .

Penelitian yang dilakukan oleh (Tan & Riwinoto, 2023) berjudul *Analysis Optimization of Game "X" Performance on The Android Platform* berfokus pada optimasi performa game Android melalui peningkatan *frame rate* dan efisiensi prosesor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan CPU awal mencapai 58,18 ms dengan performa sekitar 15–20 FPS sebelum dilakukan optimasi. Penelitian ini memiliki kesamaan dengan penelitian yang dilakukan karena sama-sama berfokus pada performa permainan. Namun, penelitian ini menggunakan sistem adaptasi kualitas grafis otomatis berbasis Fuzzy Mamdani dengan parameter CPU Time dan FPS sehingga mampu menjaga kestabilan permainan pada rentang ≥ 30 FPS melalui penyesuaian kualitas grafis secara adaptif.

Penelitian oleh (Paraschos & Koulouriotis, 2025) berjudul *Fuzzy Logic-Based Dynamic Difficulty Adjustment for Adaptive Game Environments* menerapkan logika fuzzy untuk menyesuaikan tingkat kesulitan permainan secara *real-time* berdasarkan performa pemain. Penelitian tersebut membuktikan bahwa metode fuzzy efektif dalam menghasilkan keputusan adaptif pada lingkungan permainan yang dinamis. Perbedaannya, penelitian ini menggunakan Fuzzy Mamdani untuk menyesuaikan kualitas grafis berdasarkan parameter CPU Time dan FPS guna menjaga kestabilan performa permainan pada berbagai spesifikasi perangkat.

Penelitian yang dilakukan oleh (Shi, 2025) berjudul *Fuzzy Logic-based Input Evaluation Method for Interactive Systems* menggunakan metode Fuzzy Mamdani untuk meningkatkan kualitas evaluasi input pada sistem interaktif berbasis *computer vision*. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan konsistensi sebesar 9,38%, penurunan *response time* sebesar 11,31%, dan peningkatan respons interaksi sebesar 8,8%. Penelitian tersebut membuktikan bahwa metode fuzzy efektif dalam mengolah data yang ambigu. Berbeda dengan penelitian ini yang menggunakan Fuzzy Mamdani untuk menentukan kualitas grafis otomatis berdasarkan performa CPU dan FPS.

Penelitian oleh (Zhao et al., 2023) berjudul *Optimization of the Game Improvement and Data Analysis Model for the Early Childhood Education Major via Deep Learning* berfokus pada pengembangan model *Deep Learning* untuk meningkatkan kualitas analisis data dan desain game edukasi. Hasil penelitian menunjukkan tingkat akurasi analisis data mencapai 83% hingga 93% pada

beberapa dataset. Penelitian tersebut berfokus pada optimalisasi model pembelajaran berbasis kecerdasan buatan, sedangkan penelitian ini menitikberatkan pada adaptasi kualitas grafis otomatis menggunakan Fuzzy Mamdani untuk menjaga kestabilan FPS permainan.

Penelitian yang dilakukan oleh (Fedotova et al., 2023) berjudul *Research on Calculation Optimization Methods Used in Computer Games Development* membahas berbagai metode optimasi rendering seperti *Distance Culling*, *Occlusion Culling*, *LOD*, dan *Nanite System* untuk meningkatkan efisiensi performa game. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa optimasi rendering mampu mengurangi beban komputasi sistem secara signifikan. Berbeda dengan penelitian ini yang menggunakan sistem adaptasi kualitas grafis otomatis berbasis Fuzzy Mamdani dengan parameter CPU Time dan FPS sehingga kualitas grafis dapat menyesuaikan kemampuan perangkat secara otomatis dan menjaga performa permainan tetap stabil pada rentang ≥ 30 FPS.

Berdasarkan penelitian terkait yang telah dianalisis, sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada optimasi performa game, penyesuaian tingkat kesulitan permainan, evaluasi sistem interaktif, dan optimasi rendering menggunakan berbagai metode seperti *Deep Learning* dan *Dynamic Difficulty Adjustment*. Namun, belum terdapat penelitian yang secara khusus mengimplementasikan sistem adaptasi kualitas grafis otomatis berbasis Fuzzy Mamdani menggunakan parameter CPU Time dan FPS pada game edukasi berbasis Unity. Oleh karena itu, penelitian ini dikembangkan untuk menyesuaikan kualitas grafis secara otomatis berdasarkan kemampuan perangkat pengguna. Hasil

penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kestabilan performa permainan pada rentang ≥ 30 FPS, mengurangi potensi lag, dan meningkatkan kenyamanan bermain melalui penyesuaian kualitas grafis Low, Medium, dan High secara adaptif.

2.2 Visual Game dan Kualitas Grafis

Visual dalam game merupakan elemen utama yang membentuk pengalaman pemain secara langsung (Okur et al., 2024). Tampilan grafis yang baik mampu meningkatkan daya tarik, menciptakan suasana yang imersif, dan memberikan kesan nyata bagi pemain. Sebaliknya, visual yang buruk dapat mengurangi kenyamanan serta menurunkan kualitas pengalaman bermain. Dalam konteks game edukasi, visual yang terjaga kualitasnya menjadi sarana penting untuk menyampaikan pesan pembelajaran dengan lebih efektif, karena pemain lebih mudah terhubung dengan konten yang disajikan apabila ditampilkan dengan grafis yang jelas dan menarik.

Kompleksitas art game ditentukan oleh beberapa aspek utama seperti tekstur, pencahayaan, resolusi, dan rendering (Jindal, 2022). Tekstur berfungsi memberikan detail pada objek sehingga tampak lebih nyata, pencahayaan berperan membentuk suasana serta kedalaman visual, resolusi menentukan ketajaman gambar yang ditampilkan pada layar, sementara rendering merupakan proses yang menyatukan semua elemen tersebut menjadi tampilan visual utuh yang bisa dilihat pemain secara real-time. Keempat aspek ini saling mendukung dalam membangun kualitas grafis yang memadai sesuai standar game modern.

Kualitas grafis biasanya dibagi dalam tingkatan rendah, sedang, dan tinggi. Pada kualitas rendah, elemen visual seperti tekstur dan efek cahaya dibuat sederhana agar game dapat berjalan lancar di perangkat dengan spesifikasi terbatas. Pada kualitas sedang, detail grafis ditingkatkan dengan tetap menjaga keseimbangan performa. Sedangkan pada kualitas tinggi, hampir semua aspek visual ditampilkan maksimal dengan resolusi tinggi, tekstur detail, serta efek pencahayaan kompleks yang memberikan pengalaman imersif. Variasi tingkat kualitas ini berdampak langsung pada pengalaman bermain, pemain dengan perangkat kuat dapat merasakan visual yang memanjakan, sementara perangkat terbatas tetap bisa memainkan game meski dengan penurunan kualitas visual.

2.3 Resolusi dalam Game

Resolusi dalam konteks game merujuk pada jumlah piksel yang ditampilkan pada layar, biasanya dinyatakan dalam satuan lebar $\times$ tinggi (misalnya 1280×720 atau 1920×1080). Semakin tinggi jumlah piksel, semakin detail dan tajam visual yang dapat ditampilkan. Resolusi menjadi salah satu indikator utama dalam menentukan kualitas tampilan grafis karena memengaruhi kejernihan gambar, detail objek, serta tingkat realisme dalam permainan (Yulius et al., 2021).

Hubungan resolusi dengan kualitas tampilan dan performa game bersifat timbal balik. Di satu sisi, resolusi tinggi mampu menyajikan gambar yang lebih jernih, detail, dan realistis sehingga meningkatkan pengalaman visual pemain (Jindal, 2022). Namun, semakin tinggi resolusi yang digunakan, semakin besar pula beban kerja yang diberikan kepada perangkat, terutama pada GPU (Graphics Processing Unit). Hal ini berdampak pada peningkatan konsumsi daya serta

penurunan performa apabila perangkat tidak memiliki spesifikasi yang memadai (Konnurmath & Chickerur, 2024). Sebaliknya, resolusi rendah dapat meringankan beban perangkat sehingga performa menjadi lebih lancar, meskipun kualitas visual yang dihasilkan tidak sebaik resolusi tinggi.

Perbedaan antara resolusi tinggi dan rendah berpengaruh langsung terhadap *frame per second* (FPS) dan kenyamanan bermain (A. Zhang et al., 2022). Resolusi tinggi cenderung menurunkan FPS pada perangkat berspesifikasi rendah, yang dapat menimbulkan lag, stuttering, atau penurunan responsivitas control (Kim et al., 2015). Kondisi ini tentu mengurangi kenyamanan pemain, terutama pada game yang membutuhkan interaksi cepat. Sebaliknya, resolusi rendah memungkinkan FPS yang lebih stabil sehingga permainan tetap berjalan lancar, meskipun dengan pengorbanan kualitas visual. Oleh karena itu, resolusi menjadi salah satu faktor penting dalam adaptasi grafis otomatis (A. Zhang et al., 2022), karena pengaturan yang tepat mampu menjaga keseimbangan antara kualitas tampilan dan performa permainan.

2.4 Rendering dalam Game

Rendering adalah proses menghasilkan gambar atau visual dari model tiga dimensi (3D) dengan memanfaatkan algoritma komputer untuk menampilkan objek, tekstur, pencahayaan, dan efek visual lainnya (Q. Zhang, 2024). Dalam konteks game, rendering bertujuan untuk mentransformasikan data digital menjadi tampilan yang dapat dilihat pemain secara langsung pada layar. Proses ini sangat menentukan kualitas visual, realisme, serta imersi yang dirasakan dalam permainan.

Secara umum, terdapat dua jenis rendering yang banyak digunakan dalam industri game, yaitu real-time rendering dan offline rendering. Real-time rendering digunakan pada game interaktif, di mana gambar harus dihasilkan dengan sangat cepat untuk mengikuti interaksi pemain. Teknik ini menuntut keseimbangan antara kualitas visual dan performa perangkat, karena keterlambatan dalam menghasilkan frame dapat menurunkan FPS dan merusak pengalaman bermain. Sebaliknya, offline rendering biasanya digunakan pada pembuatan film animasi atau cutscene dengan kualitas sinematik, karena tidak terikat pada kebutuhan respons waktu nyata (Wang et al., 2023). Meskipun menghasilkan visual yang jauh lebih detail, metode ini membutuhkan waktu komputasi yang lebih lama sehingga tidak cocok untuk gameplay interaktif.

Peran rendering dalam game sangat krusial karena secara langsung memengaruhi kualitas visual dan konsumsi sumber daya perangkat (Koulaxidis & Xinogalos, 2022). Semakin kompleks proses rendering, seperti penggunaan pencahayaan dinamis, bayangan realistis, efek partikel, dan tekstur beresolusi tinggi, semakin besar pula kebutuhan daya komputasi dari CPU dan GPU. Jika perangkat tidak mampu menangani beban ini, performa game akan menurun, ditandai dengan FPS rendah, input lag, hingga overheating (Koulaxidis & Xinogalos, 2022). Oleh karena itu, optimalisasi rendering melalui sistem adaptasi grafis otomatis menjadi penting untuk menjaga keseimbangan antara kualitas tampilan yang realistis dan kinerja perangkat yang stabil, terutama pada game edukasi yang harus dapat diakses di berbagai jenis perangkat.

2.5 Logika *Fuzzy*

Logika *fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965 sebagai pengembangan dari logika klasik yang hanya mengenal dua nilai tegas, yaitu benar (1) dan salah (0) (Harahap et al., 2019). Berbeda dengan logika biner, logika *fuzzy* memungkinkan adanya nilai di antara keduanya dengan derajat keanggotaan antara 0 sampai 1. Hal ini menjadikan logika *fuzzy* sangat relevan untuk menangani kondisi yang tidak pasti atau ambigu, seperti halnya dalam kasus pengaturan kualitas grafis pada game yang dijalankan di perangkat dengan spesifikasi berbeda (Mordeson et al., 2018). Konsep ini memungkinkan sistem memberikan keputusan yang lebih fleksibel, realistis, dan mendekati cara berpikir manusia dalam menilai suatu kondisi.

Proses dalam logika *fuzzy* terdiri dari tiga tahapan utama yang saling berkesinambungan. Tahap pertama adalah fuzzifikasi, yaitu mengubah nilai input tegas (*crisp input*) menjadi nilai keanggotaan *fuzzy* dengan menggunakan fungsi keanggotaan. Secara matematis dituliskan sebagai:

$$x \mapsto \mu(x) \quad (2.1)$$

x adalah nilai masukan tegas dan $\mu(x)$ merupakan nilai derajat keanggotaan *fuzzy* pada rentang 0 hingga 1.

Tahap kedua adalah inferensi, di mana sistem menggunakan seperangkat aturan berbentuk *if-then* untuk menghasilkan keluaran *fuzzy*. Aturan ini biasanya melibatkan lebih dari satu variabel, misalnya:

$$\text{IF } x \text{ adalah } A \text{ AND } y \text{ adalah } B \text{ THEN } z \text{ adalah } C \quad (2.2)$$

Dalam proses inferensi, operasi logika *fuzzy* yang umum digunakan adalah metode min–max. Operasi minimum menentukan kekuatan aturan:

$$a \wedge b = \min(a, b) \quad (2.3)$$

Sedangkan operasi maksimum digunakan untuk menggabungkan keluaran dari beberapa aturan:

$$a \vee b = \max(a, b) \quad (2.4)$$

Tahap terakhir adalah *defuzzifikasi*, yaitu proses mengubah keluaran *fuzzy* menjadi nilai tegas agar dapat digunakan dalam pengambilan keputusan. Metode yang paling banyak digunakan adalah *centroid* atau titik berat, dengan rumus:

$$Z = \frac{\sum \mu(z_i) \cdot z_i}{\sum \mu(z_i)} \quad (2.5)$$

Dengan z_i adalah nilai output aturan ke- i dan $\mu(z_i)$ adalah derajat keanggotaannya.

Logika *fuzzy* memiliki sejumlah keunggulan yang menjadikannya banyak digunakan dalam sistem kendali maupun pengambilan keputusan (Tency, 2024). Konsepnya sederhana dan mudah dipahami karena berbasis pada aturan linguistik yang menyerupai cara manusia dalam menalar suatu kondisi. Sistem ini juga memiliki fleksibilitas tinggi, sebab aturan dan fungsi keanggotaan dapat dengan mudah disesuaikan sesuai kebutuhan. Selain itu, logika *fuzzy* toleran terhadap data yang tidak presisi sehingga tetap mampu menghasilkan keputusan yang relevan meskipun input yang diberikan tidak sepenuhnya akurat (Wu & Xu, 2021). Kemampuannya dalam memodelkan hubungan non-linear yang kompleks membuat logika *fuzzy* realistis dalam menghasilkan keluaran, sekaligus intuitif untuk diimplementasikan dalam berbagai aplikasi. Karakteristik tersebut menjadikannya cocok diterapkan pada penelitian ini, khususnya dalam

pengembangan sistem adaptasi grafis otomatis yang membutuhkan pengambilan keputusan fleksibel, realistis, dan ramah pengguna (Kyriazos & Poga, 2024).

2.5.1 *Fuzzy mamdani*

Fuzzy mamdani atau Metode Inferensi Mamdani adalah salah satu model inferensi *fuzzy* yang diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975 (Lubis et al., 2019). Metode ini menjadi salah satu yang paling populer digunakan karena mudah dipahami, sederhana dalam penerapan, serta mampu menghasilkan keluaran yang realistis dalam bentuk himpunan *fuzzy*. Karakteristik utama metode ini adalah penggunaan aturan linguistik berbentuk *if-then*, di mana bagian antecedent merepresentasikan kondisi input, sedangkan consequent berupa keluaran dalam bentuk himpunan *fuzzy*. Dengan pendekatan ini, *Fuzzy mamdani* lebih dekat dengan cara manusia melakukan penalaran sehari-hari sehingga mudah dipahami baik dalam perancangan maupun interpretasi hasilnya (Gu et al., 2023).

Proses inferensi pada metode Mamdani melibatkan beberapa tahapan utama. Pertama adalah fuzzifikasi, yaitu mengubah input tegas (crisp) menjadi derajat keanggotaan pada himpunan *fuzzy*. Kedua adalah rule base, yaitu sekumpulan aturan *if-then* yang menjadi dasar sistem pengambilan keputusan. Ketiga adalah inferensi, yaitu proses menggabungkan aturan *fuzzy* dengan menggunakan metode operasi seperti *min-max* untuk menentukan keluaran *fuzzy*. Tahap terakhir adalah defuzzifikasi, yaitu mengubah keluaran *fuzzy* menjadi nilai tegas (crisp output) yang dapat digunakan dalam sistem nyata. Metode defuzzifikasi yang umum digunakan dalam Mamdani adalah metode centroid atau titik berat dengan persamaan:

$$Z = \frac{\sum \mu(z_i) \cdot z_i}{\sum \mu(z_i)} \quad (2.6)$$

dengan $\mu(z_i)$ adalah derajat keanggotaan pada aturan ke- i , dan z_i adalah nilai konsekuen dari aturan tersebut.

Metode Mamdani punya beberapa keunggulan dibanding metode *fuzzy* lain, karena hasil yang dihasilkan lebih mudah dipahami dan mendekati kondisi nyata (Nursyachbaini, 2023). Cara kerjanya juga cukup sederhana dan bisa diterapkan di banyak kasus yang membutuhkan keputusan otomatis. Dalam penyesuaian kualitas grafis, Mamdani sangat sesuai karena bisa mengolah data yang tidak pasti dan berubah-ubah, misalnya dari CPU dan FPS (Pourjavad & Shahin, 2018). Dengan begitu, sistem dapat menyesuaikan grafis secara adaptif sehingga game tetap lancar di perangkat dengan spesifikasi rendah, dan tetap menampilkan kualitas visual terbaik pada perangkat yang lebih tinggi.

2.6 Pengujian Sistem Adaptif Berbasis Performa

Pengujian sistem adaptif merupakan metode evaluasi yang digunakan untuk menilai kinerja sistem dalam menyesuaikan kualitas grafis secara otomatis berdasarkan kondisi performa perangkat. Berbeda dengan model prediktif seperti machine learning yang memerlukan dataset dan proses pelatihan, sistem *Fuzzy mamdani* bekerja secara deterministik berdasarkan aturan (rule base) berbentuk IF–THEN. Oleh karena itu, evaluasi sistem tidak difokuskan pada perhitungan akurasi numerik, melainkan pada kemampuan sistem dalam menghasilkan keputusan yang berdampak langsung terhadap performa permainan.

Dalam konteks penelitian ini, pengujian dilakukan dengan memasukkan nilai CPU Time dan Frame Per Second (FPS) sebagai parameter input, kemudian diamati kualitas grafis yang dihasilkan oleh sistem, yaitu Low, Medium, atau High. Hasil keputusan tersebut dianalisis berdasarkan kesesuaiannya terhadap kondisi performa perangkat. Perangkat dengan performa yang lebih tinggi diharapkan menghasilkan kualitas grafis yang lebih tinggi, sedangkan perangkat dengan performa yang lebih rendah menghasilkan kualitas grafis yang lebih rendah, sehingga sistem dapat menyesuaikan tampilan secara adaptif.

Selain itu, pengujian juga dilakukan dengan mengamati performa permainan secara langsung setelah kualitas grafis diterapkan. Pengamatan ini meliputi stabilitas nilai Frame Per Second (FPS) selama permainan berlangsung, jumlah kejadian lag, serta durasi lag yang terjadi. FPS dikatakan stabil apabila tidak mengalami penurunan secara drastis dan berada pada rentang yang relatif konsisten selama gameplay. Lag diidentifikasi sebagai kondisi ketika terjadi penurunan FPS secara signifikan yang dapat mengganggu kelancaran permainan. Semakin sedikit jumlah dan durasi lag yang terjadi, maka performa sistem dinilai semakin baik.

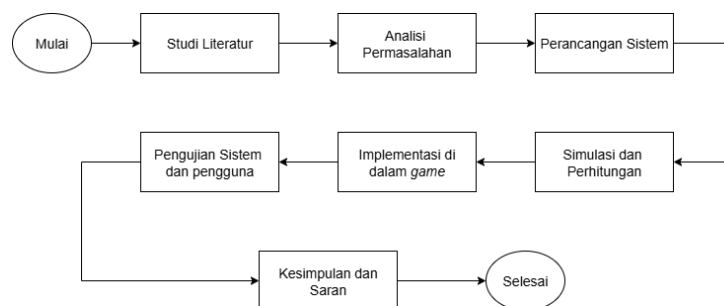
Di samping itu, dilakukan pula penilaian terhadap tingkat kenyamanan bermain yang dirasakan oleh pengguna. Penilaian ini digunakan untuk mengetahui sejauh mana sistem adaptasi grafis mampu memberikan pengalaman bermain yang optimal pada berbagai perangkat. Dengan demikian, pengujian yang dilakukan tidak hanya menilai kesesuaian logika sistem, tetapi juga mengevaluasi dampak nyata dari keputusan sistem terhadap kualitas gameplay secara keseluruhan.

BAB III DESAIN DAN IMPLEMENTASI

3.1 Desain Penelitian

Desain penelitian ini menggambarkan langkah-langkah yang dilakukan dalam mengembangkan sistem adaptasi otomatis kualitas grafis pada game edukasi *Trash Tycoon* dengan metode *Fuzzy mamdani*. Penelitian dimulai dari studi literatur untuk memperoleh dasar teori, dilanjutkan dengan analisis permasalahan terkait perbedaan spesifikasi perangkat, serta perancangan sistem adaptasi grafis dengan input berupa CPU Time dan FPS serta output berupa kualitas grafis. Tahap selanjutnya dilakukan simulasi dan perhitungan awal menggunakan data sebagai dasar pengujian sistem *fuzzy*.

Hasil rancangan kemudian diimplementasikan ke dalam *Unity* untuk mengatur *Quality Settings* secara otomatis berdasarkan hasil keputusan sistem. Setelah implementasi, dilakukan pengujian sistem untuk mengevaluasi kinerja adaptasi grafis pada berbagai perangkat. Pengujian ini meliputi analisis kestabilan FPS, pengukuran jumlah dan durasi lag, serta penilaian tingkat kenyamanan bermain pengguna. Alur penelitian ini divisualisasikan dalam sebuah bagan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Desain Penelitian

3.2 Rancangan Game

Rancangan game pada penelitian ini disusun untuk mendefinisikan struktur permainan, alur interaksi pemain, serta elemen dasar yang membentuk mekanisme inti Trash Tycoon. Fokus perancangan mencakup aktivitas utama pemain dalam mengumpulkan dan mengolah sampah, sistem perolehan koin sebagai hasil pengolahan, serta pemanfaatan koin untuk melakukan perbaikan atau peningkatan mesin daur ulang. Selain itu, rancangan ini juga mempertimbangkan peran NPC pendamping yang memberikan informasi dan rekomendasi selama permainan berlangsung. Tahap perancangan ini bertujuan memastikan bahwa seluruh komponen gameplay berjalan secara berkelanjutan dalam loop progresif, serta menghasilkan pengalaman yang konsisten bagi pemain. Subbab berikutnya akan menjelaskan konsep permainan secara lebih rinci.

3.2.1 Konsep Game

Trash Tycoon merupakan game edukasi bergenre simulasi manajemen yang dikembangkan menggunakan *Unity Engine* untuk platform Personal Computer (PC). Permainan ini dirancang untuk meningkatkan kesadaran pemain mengenai pentingnya pengelolaan sampah serta strategi pemanfaatan sumber daya dalam konteks daur ulang. Pemain mengendalikan karakter utama yang bertugas mengumpulkan sampah di area permainan, kemudian mengolahnya menggunakan mesin daur ulang untuk menghasilkan koin sebagai mata uang utama dalam game. Koin tersebut digunakan untuk memperbaiki mesin yang rusak serta melakukan peningkatan (*upgrade*) untuk meningkatkan efisiensi proses daur ulang.

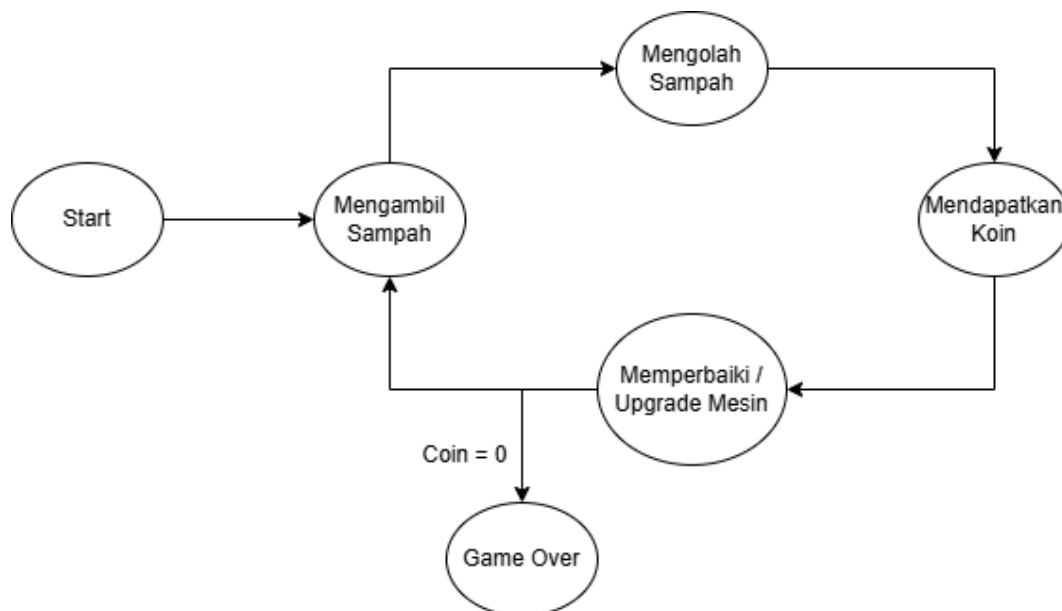
Dalam permainan ini, pemain ditemani oleh sebuah NPC pendamping bernama Trashy Bot. NPC ini membantu memberikan informasi, peringatan, dan rekomendasi tertentu selama permainan berlangsung, seperti kondisi mesin, kebutuhan perbaikan, maupun kesempatan untuk melakukan upgrade. Kehadiran NPC ini diharapkan dapat meningkatkan pengalaman bermain serta mendorong pemain melakukan pengelolaan sumber daya secara tepat dan responsif.

Siklus permainan berlangsung berulang (*progressive loop*): pemain mengambil sampah, mengolah di mesin, memperoleh koin, lalu menggunakannya untuk menjaga performa mesin sebelum kembali memulai proses pengolahan. Apabila koin yang dimiliki pemain habis, permainan akan berhenti dan masuk ke kondisi *Game Over*, sehingga pemain perlu mengatur strategi pemanfaatan koin secara bijak untuk mempertahankan keberlanjutan proses daur ulang.

Dari sisi visual, game menggunakan gaya *Low Poly* yang ringan, disertai elemen antarmuka sederhana untuk memantau durabilitas mesin, jumlah koin, serta indikator performa. Elemen audio seperti efek mesin dan suara interaksi ditambahkan untuk memperkuat atmosfer permainan.

Penelitian ini mengimplementasikan sistem adaptasi otomatis kualitas grafis menggunakan *Fuzzy mamdani*, yang bekerja berdasarkan parameter CPU dan FPS perangkat pemain. Sistem ini menentukan tiga tingkat kualitas grafis—Low, Medium, dan High yang kemudian diterapkan secara otomatis pada *Unity Quality Settings*. Tujuan utama sistem adalah menjaga stabilitas performa permainan pada perangkat dengan spesifikasi beragam tanpa memerlukan pengaturan manual dari pemain.

Sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 3.2 (Progressive Gameplay Loop Trash Tycoon), terdapat beberapa state inti, yaitu Start, Mengambil Sampah, Mengolah Sampah, Mendapatkan Koin, serta Memperbaiki/Upgrade Mesin, yang kemudian kembali ke proses awal secara berulang. Cabang khusus untuk kondisi $\text{Coin} = 0$ mengarah ke state Game Over, yang menjadi indikator kegagalan manajemen sumber daya. Loop ini menegaskan bahwa game tidak hanya berfokus pada aktivitas daur ulang, tetapi juga menuntut strategi jangka panjang agar proses pengolahan dapat terus berjalan.



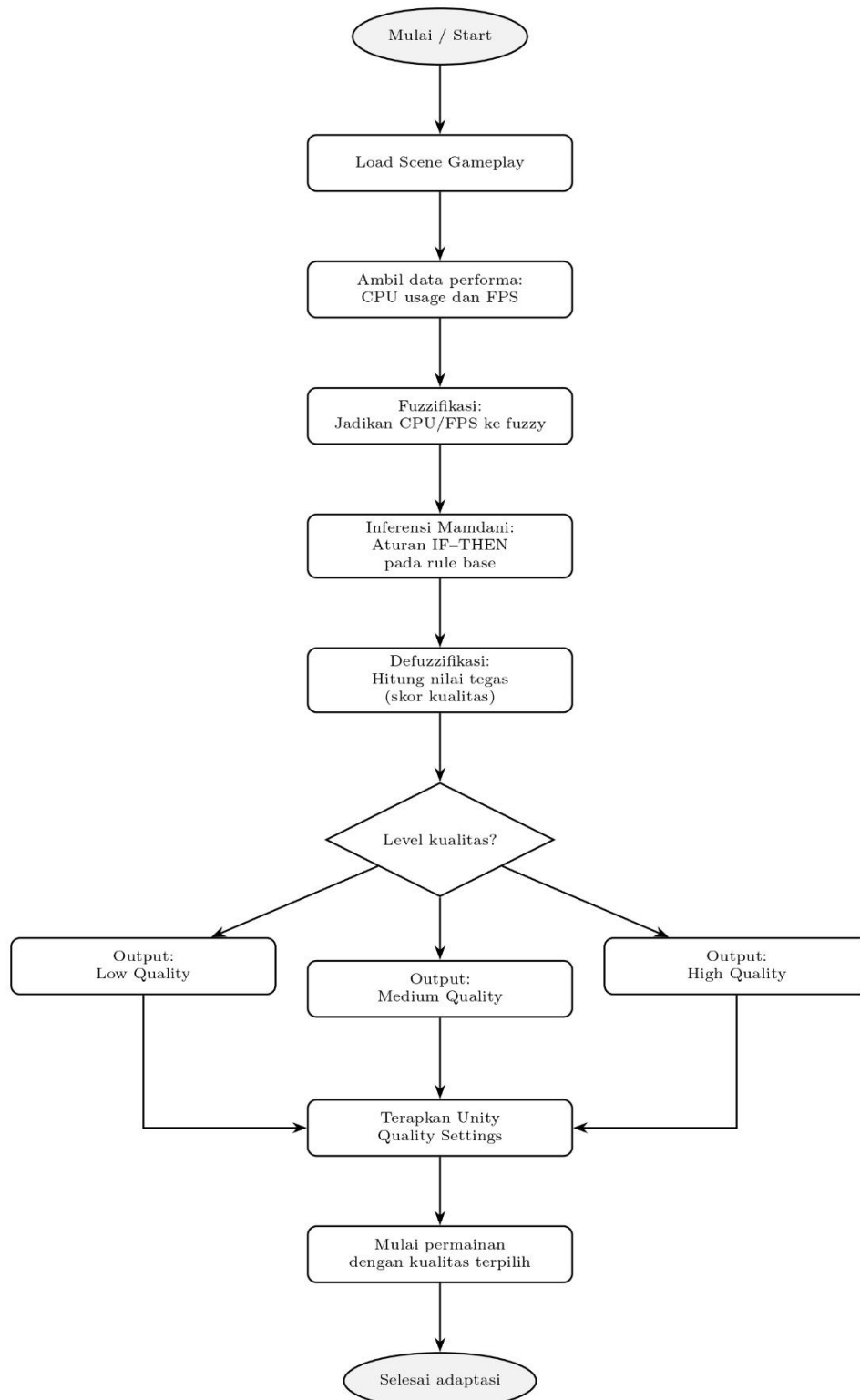
Gambar 3.2 Progressive Gameplay Loop Trash Tycoon

3.3 Perancangan Sistem *Fuzzy mamdani*

Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem logika *Fuzzy mamdani* yang berfungsi untuk menyesuaikan tingkat kualitas grafis secara otomatis pada game edukasi *Trash Tycoon*. Sistem ini dirancang untuk membaca kondisi performa perangkat pemain berdasarkan data CPU dan nilai FPS (*Frame per Second*), kemudian mengolahnya menjadi keputusan akhir berupa level kualitas grafis yang

paling sesuai, yaitu Low, Medium, atau High. Tujuan utama dari sistem ini adalah menjaga keseimbangan antara performa dan kualitas visual game sehingga pemain dapat menikmati pengalaman bermain yang optimal tanpa harus melakukan pengaturan grafis secara manual.

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.3, proses adaptasi kualitas grafis dalam sistem *Fuzzy mamdani* dimulai ketika permainan memasuki *Gameplay Scene*. Pada tahap awal, sistem melakukan pembacaan performa perangkat untuk memperoleh nilai CPU dan FPS. Data ini bersifat tegas (*crisp value*), sehingga perlu dikonversi ke dalam bentuk *fuzzy* melalui proses fuzzifikasi. Pada tahap ini, nilai CPU dan FPS dipetakan ke dalam tiga himpunan linguistik, yaitu rendah, sedang, dan tinggi, sehingga sistem mampu menangani variasi data performa yang bersifat tidak pasti.



Gambar 3.3 Flowchart Sistem Adaptasi Grafis

Tahap berikutnya adalah inferensi *fuzzy* menggunakan metode Mamdani. Pada proses ini, sistem menerapkan seperangkat aturan IF–THEN yang telah disusun dalam *rule base*. Aturan tersebut menghubungkan kombinasi nilai *fuzzy* CPU dan FPS dengan keputusan kualitas grafis. Sebagai contoh, jika CPU berada pada kondisi lambat dan FPS rendah, maka keluaran sistem akan berada pada level grafis Low. Sebaliknya, jika CPU cepat dan FPS tinggi, maka sistem akan menghasilkan level High. Mekanisme ini memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih fleksibel berdasarkan kondisi aktual performa perangkat.

Hasil keluaran dari proses inferensi masih berupa nilai *fuzzy*, sehingga perlu dikonversi kembali menjadi nilai tegas melalui proses defuzzifikasi. Dalam penelitian ini digunakan metode centroid, yang menghitung rata-rata tertimbang dari seluruh keluaran *fuzzy* untuk menghasilkan satu nilai tegas yang mewakili skor kualitas grafis akhir. Nilai tegas ini digunakan sebagai dasar untuk menentukan level grafis yang paling sesuai.

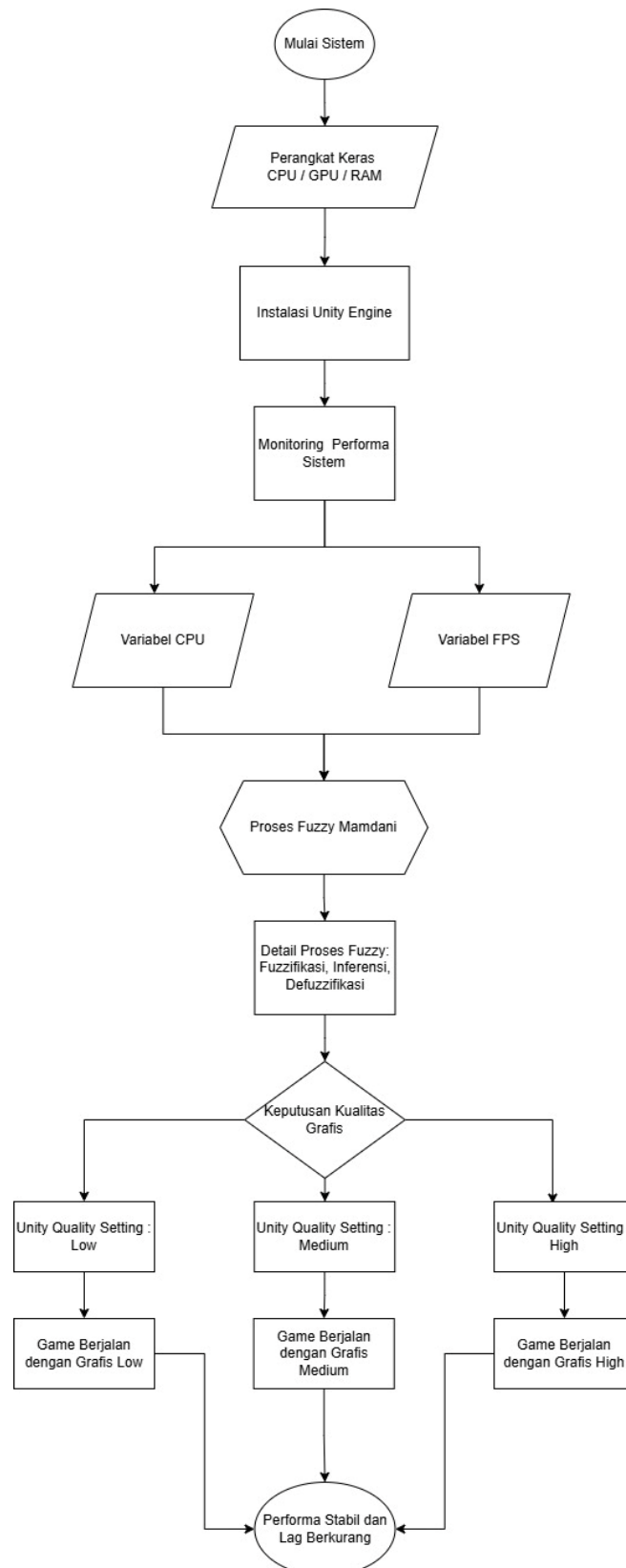
Tahap terakhir adalah penerapan keluaran defuzzifikasi ke dalam *Unity* Quality Settings. Level kualitas grafis hasil perhitungan akan diterapkan secara otomatis sebelum permainan dimulai. Proses adaptasi ini bersifat satu kali (*one-time adaptation*) dan tidak diubah kembali selama permainan berlangsung. Pendekatan ini diterapkan untuk menjaga konsistensi visual selama sesi bermain serta mencegah perubahan kualitas grafis secara tiba-tiba yang berpotensi mengganggu pengalaman pemain.

Melalui perancangan sistem *Fuzzy mamdani* ini, *Trash Tycoon* mampu menyesuaikan kualitas tampilan secara cerdas dan efisien berdasarkan kemampuan

perangkat masing-masing pemain. Dengan demikian, game dapat berjalan stabil pada berbagai spesifikasi perangkat sambil tetap mempertahankan tampilan visual yang nyaman dan proporsional.

3.3.1 Arsitektur Sistem *Fuzzy*

Arsitektur sistem adaptasi grafis pada penelitian ini dirancang untuk menyesuaikan kualitas grafis permainan secara otomatis berdasarkan performa perangkat pengguna menggunakan metode Fuzzy Mamdani. Sistem bekerja dengan membaca kondisi performa perangkat berupa CPU Time dan FPS untuk menentukan kualitas grafis yang sesuai sehingga permainan dapat berjalan lebih stabil pada berbagai spesifikasi perangkat.



Gambar 3.4 Arsitektur Sistem Adaptasi Grafis

Pada Gambar 3.4 ditunjukkan alur kerja sistem adaptasi grafis otomatis yang dimulai dari perangkat keras (*hardware*) yang terdiri dari CPU, GPU, dan RAM sebagai komponen utama yang mempengaruhi performa permainan. Selanjutnya permainan dijalankan melalui Unity Engine yang berfungsi sebagai *game engine* sekaligus penghubung antara perangkat keras dan sistem adaptasi grafis. Setelah permainan dimulai, sistem melakukan *monitoring performa* untuk membaca data CPU Time dan FPS sebagai parameter utama dalam proses pengambilan keputusan.

Data CPU Time dan FPS kemudian diproses menggunakan metode Fuzzy Mamdani melalui tahap fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi. Pada tahap fuzzifikasi, nilai CPU Time dan FPS diubah menjadi nilai fuzzy berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan. Selanjutnya sistem melakukan inferensi menggunakan aturan IF–THEN pada *rule base* untuk menentukan kualitas grafis yang sesuai berdasarkan kondisi performa perangkat. Hasil inferensi kemudian dikonversi kembali menjadi nilai tegas menggunakan metode defuzzifikasi centroid untuk menghasilkan keputusan kualitas grafis akhir.

Keputusan kualitas grafis tersebut dibagi menjadi tiga kategori, yaitu Low, Medium, dan High. Hasil keputusan kemudian diterapkan pada Unity Quality Settings untuk menyesuaikan kualitas tekstur, bayangan (*shadow*), efek visual, dan kualitas rendering permainan. Setelah pengaturan grafis diterapkan, permainan dijalankan menggunakan kualitas grafis yang telah dipilih secara otomatis sehingga performa permainan menjadi lebih stabil dan potensi lag dapat dikurangi. Dengan

demikian, sistem adaptasi yang dikembangkan mampu menjaga keseimbangan antara kualitas visual dan performa permainan pada berbagai spesifikasi perangkat.

3.3.2 Variabel *Fuzzy*

Dalam sistem *Fuzzy mamdani* yang dirancang pada penelitian ini, digunakan dua variabel input dan satu variabel output untuk menentukan tingkat kualitas grafis pada game edukasi *Trash Tycoon*. Kedua variabel input tersebut adalah CPU dan FPS (Frame per Second) yang merepresentasikan kondisi performa perangkat pemain, sedangkan variabel output adalah Kualitas Grafis yang menunjukkan level kualitas visual yang akan diterapkan secara otomatis oleh sistem adaptasi. Hubungan antara masing-masing variabel dan jenisnya disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Variabel Dan Himpunan Fuzzy Pada Sistem Adaptasi Grafis

No	Variabel	Jenis	Himpunan <i>Fuzzy</i>
1	CPU	Input	Cepat, Sedang, Lambat
2	FPS	Input	Rendah, Sedang, Tinggi
3	Kualitas Grafis	Output	Low, Medium, High

Setiap variabel memiliki tiga nilai linguistik yang mewakili kondisi performa atau kualitas sistem. CPU dan FPS digunakan untuk mengukur performa perangkat pemain secara dinamis, sementara variabel keluaran *Kualitas Grafis* menentukan konfigurasi *Quality Settings* di *Unity*, seperti tingkat *shadow*, *texture*, dan *anti-aliasing*.

Seluruh variabel menggunakan fungsi keanggotaan segitiga (triangular membership function) karena memberikan transisi halus antarhimpunan serta efisien dalam perhitungan *fuzzy*.

Domain dan batas nilai untuk masing-masing variabel adalah sebagai berikut:

1. Variabel CPU (*Input*)

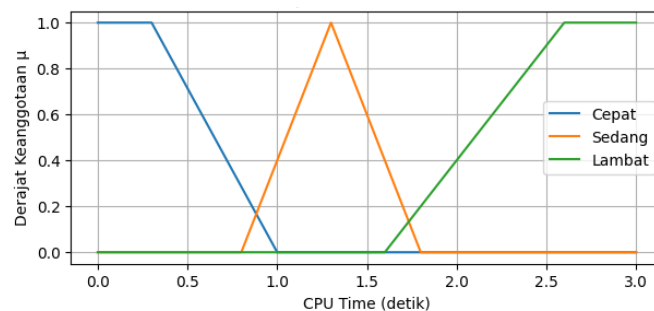
Variabel CPU merupakan input utama yang mewakili tingkat kemampuan prosesor dalam melakukan pemrosesan data pada suatu perangkat. Dalam sistem ini, nilai CPU tidak diambil langsung dari frekuensi prosesor yang dinyatakan dalam satuan GHz, melainkan dikonversi menjadi waktu eksekusi (*benchmark time*) dalam satuan detik. Pendekatan ini digunakan karena frekuensi prosesor tidak selalu mencerminkan kinerja nyata, dua prosesor dengan frekuensi sama dapat memiliki performa berbeda tergantung pada efisiensi arsitektur, jumlah inti (*core*), serta sistem pengaturan daya yang digunakan (Schoeberl, 2009). Dengan menggunakan satuan waktu, performa prosesor dapat dinilai secara lebih objektif melalui lamanya waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses komputasi tertentu.

Nilai CPU dalam detik diperoleh melalui pengamatan terhadap durasi eksekusi proses standar yang dijadikan acuan performa, seperti waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan simulasi atau pemrosesan data dalam kondisi beban tetap. Pendekatan ini termasuk dalam kategori pengukuran berbasis waktu eksekusi (*execution time measurement*), di mana semakin kecil waktu yang dihasilkan, semakin cepat kemampuan prosesor dalam menyelesaikan tugasnya (Dorado et al., 2017). Sebaliknya, waktu yang lebih besar menunjukkan bahwa prosesor membutuhkan waktu lebih lama untuk memproses data, sehingga dikategorikan memiliki performa yang lebih rendah.

Untuk mewakili rentang performa tersebut, variabel CPU dibagi ke dalam tiga himpunan *fuzzy* berdasarkan waktu eksekusi:

- a. Cepat : 0.3 – 1.0 detik
- b. Sedang : 0.8 – 1.8 detik
- c. Lambat : 1.6 – 2.6 detik

Setiap himpunan menggunakan fungsi keanggotaan berbentuk linier bahu kiri (left shoulder) untuk kategori cepat, segitiga (triangular) untuk kategori sedang, dan bahu kanan (right shoulder) untuk kategori lambat. Bentuk ini memberikan transisi yang halus antar kategori sehingga sistem *fuzzy* dapat memberikan keputusan yang lebih stabil dan proporsional terhadap perubahan kecil pada nilai waktu eksekusi CPU. Adapun pembagian setiap himpunan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.5 Variabel CPU

Gambar 3.4 memperlihatkan fungsi keanggotaan variabel CPU Benchmark (detik) yang terdiri dari tiga himpunan *fuzzy*, yaitu cepat, sedang, dan lambat. Himpunan cepat direpresentasikan dengan fungsi bahu kiri (*left-shoulder*), di mana derajat keanggotaan penuh ($\mu = 1$) diberikan untuk waktu eksekusi hingga sekitar 0,3 detik, kemudian menurun secara linier hingga mencapai $\mu = 0$ pada 1,0 detik. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil waktu eksekusi, semakin cepat kinerja prosesor dalam memproses data.

Selanjutnya, himpunan sedang digambarkan dengan fungsi segitiga (*triangular*) yang memiliki puncak keanggotaan $\mu = 1$ pada sekitar 1,3 detik, yang

merepresentasikan kondisi CPU dengan performa menengah atau normal. Rentang keanggotaan *fuzzy* untuk kategori ini berada antara 0,8–1,8 detik, yang menggambarkan prosesor dengan kecepatan pemrosesan rata-rata.

Sementara itu, himpunan lambat digambarkan dengan fungsi bahu kanan (*right-shoulder*), di mana derajat keanggotaan mulai meningkat dari $\mu = 0$ pada 1,6 detik dan mencapai $\mu = 1$ pada 2,6 detik. Nilai ini merepresentasikan kondisi CPU dengan waktu eksekusi yang lebih lama, yang menandakan performa prosesor yang lebih rendah dalam menangani proses komputasi.

Daerah tumpang tindih antara kategori cepat–sedang (sekitar 0,8–1,0 detik) dan sedang–lambat (sekitar 1,6–1,8 detik) berfungsi untuk memberikan transisi yang halus antar kategori performa. Dengan demikian, perubahan kecil pada nilai waktu eksekusi tidak secara drastis mengubah hasil klasifikasi sistem. Bentuk fungsi keanggotaan linier seperti ini dipilih karena sederhana secara komputasional, mudah diimplementasikan pada sistem *Fuzzy mamdani*, serta mampu memberikan representasi yang stabil terhadap hubungan antara waktu eksekusi CPU dan tingkat performanya dalam sistem adaptasi grafis otomatis pada game *Trash Tycoon*.

Berikut adalah rumus untuk masing-masing fungsi keanggotaan tersebut.

a. Cepat

$$\mu_{cepat}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0,3 \\ \frac{1,0 - x}{1,0 - 0,3}, & 0,3 < x < 1,0 \\ 0, & x \geq 1,0 \end{cases} \quad (3.1)$$

b. Sedang

$$\mu_{sedang}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0,8 \text{ atau } x \geq 1,8 \\ \frac{x - 0,8}{1,3 - 0,8}, & 0,6 < x \leq 1,3 \\ \frac{1,8 - x}{1,8 - 1,3}, & 1,3 < x < 1,8 \end{cases} \quad (3.2)$$

c. Lambat

$$\mu_{lambat}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 1,6 \\ \frac{x - 1,6}{2,6 - 1,6}, & 1,6 < x < 2,6 \\ 1, & x \geq 2,6 \end{cases} \quad (3.3)$$

2. Variabel FPS (*Input*)

Variabel FPS (*Frame per Second*) digunakan untuk merepresentasikan tingkat kelancaran visual dan stabilitas tampilan selama permainan berlangsung. FPS menunjukkan jumlah frame yang dapat dirender oleh perangkat dalam satu detik, di mana semakin tinggi nilai FPS, maka animasi dan pergerakan dalam game akan semakin halus dan responsif. Dalam konteks sistem *Fuzzy mamdani*, FPS berfungsi sebagai parameter utama untuk menilai performa grafis perangkat dan menjadi dasar penyesuaian kualitas visual secara otomatis agar permainan tetap nyaman di berbagai spesifikasi perangkat.

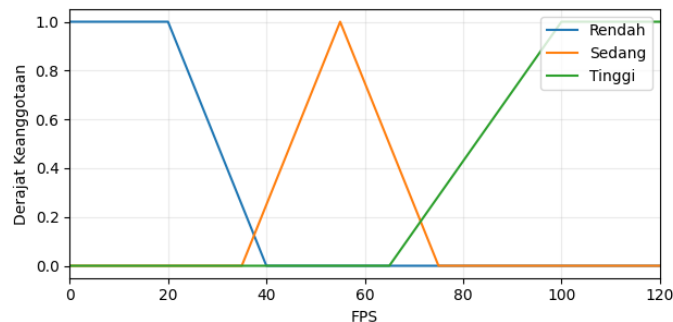
Nilai FPS diperoleh secara real-time selama permainan dijalankan melalui fungsi penghitung frame rate bawaan mesin pengembang game, seperti *Time.deltaTime* pada *Unity*, yang mengukur durasi waktu per frame dan mengonversinya menjadi FPS melalui rumus $FPS = 1 / \Delta t$. Nilai ini kemudian

digunakan sebagai crisp input dalam sistem *fuzzy* dengan domain antara 0 hingga 120 FPS, mencakup performa dari perangkat berkemampuan rendah hingga tinggi.

Berdasarkan pengamatan umum terhadap performa grafis,

variabel FPS dibagi ke dalam tiga himpunan *fuzzy* yang mencerminkan tingkat kelancaran tampilan visual sebagai berikut:

- a. Rendah : 20 – 40 FPS
- b. Sedang : 35 – 75 FPS
- c. Tinggi : 65 – 100 FPS



Gambar 3.6 Variabel FPS

Gambar 3.5 memperlihatkan bentuk fungsi keanggotaan untuk variabel FPS yang digunakan sebagai indikator kelancaran visual dalam game. Himpunan rendah, sedang, dan tinggi menunjukkan tiga kategori performa perangkat berdasarkan kemampuan menampilkan frame per detik.

Himpunan rendah digambarkan menggunakan fungsi bahu kiri (left-shoulder), di mana derajat keanggotaan penuh ($\mu = 1$) diberikan pada nilai FPS hingga 20 dan menurun secara linier hingga $\mu = 0$ pada FPS 40. Hal ini menggambarkan bahwa perangkat dengan FPS rendah menghasilkan tampilan kurang halus dan sering mengalami lag.

Himpunan sedang memiliki bentuk segitiga (triangular) dengan rentang 35–55–75 FPS dan puncak keanggotaan $\mu = 1$ pada FPS 55. Area ini menunjukkan kondisi di mana permainan berjalan stabil dan nyaman untuk dimainkan tanpa gangguan signifikan.

Sementara itu, himpunan tinggi direpresentasikan dengan fungsi bahu kanan (right-shoulder), yang mulai naik dari $\mu = 0$ pada FPS 65 hingga mencapai $\mu = 1$ pada FPS 100. Nilai ini menunjukkan kondisi optimal di mana sistem mampu merender gambar dengan sangat halus dan responsif.

Daerah tumpang tindih antara himpunan *rendah-sedang* (35–40 FPS) dan *sedang-tinggi* (65–75 FPS) memberikan transisi yang halus antar kategori performa, sehingga sistem *fuzzy* dapat menyesuaikan kualitas grafis tanpa perubahan ekstrem ketika FPS sedikit berfluktuasi. Pendekatan linier ini dipilih karena efisien secara komputasional dan memberikan hasil yang realistis dalam proses inferensi Mamdani untuk adaptasi kualitas grafis otomatis.

a. Rendah

$$\mu_{rendah}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 20 \\ \frac{40 - x}{40 - 20}, & 20 < x < 40 \\ 0, & x \geq 40 \end{cases} \quad (3.4)$$

b. Sedang

$$\mu_{sedang}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 35 \text{ atau } x \geq 75 \\ \frac{x - 35}{55 - 35}, & 35 < x \leq 55 \\ \frac{75 - x}{75 - 55}, & 55 < x < 75 \end{cases} \quad (3.5)$$

c. Tinggi

$$\mu_{tinggi}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 65 \\ \frac{x - 65}{100 - 65}, & 65 < x < 100 \\ 1, & x \geq 100 \end{cases} \quad (3.6)$$

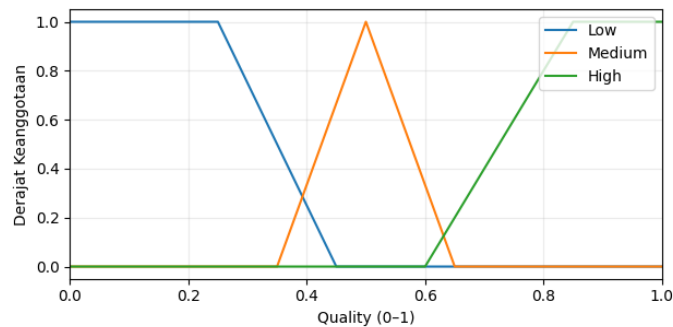
3. Variabel Grafis (Output)

Variabel Kualitas Grafis berfungsi sebagai keluaran dari sistem *Fuzzy mamdani* yang menentukan tingkat visual akhir yang akan diterapkan pada game *Trash Tycoon*. Variabel ini digunakan untuk mengatur aspek-aspek visual seperti resolusi tekstur, bayangan (*shadow quality*), pencahayaan, dan anti-aliasing berdasarkan hasil perhitungan *fuzzy* yang mempertimbangkan kondisi CPU dan FPS perangkat pemain. Dengan demikian, variabel ini menjadi pengendali utama untuk menjaga keseimbangan antara kualitas tampilan dan performa permainan.

Nilai keluaran variabel ini berada dalam rentang 0 hingga 1, di mana nilai yang semakin mendekati 0 menunjukkan kualitas visual yang lebih rendah (grafis disederhanakan untuk menjaga kelancaran), sedangkan nilai yang mendekati 1 menunjukkan kualitas visual yang tinggi (grafis lebih detail dan realistis).

Untuk mengelompokkan hasil keluaran tersebut, digunakan tiga himpunan *fuzzy* linguistik, yaitu:

- a. Low : 0,25 – 0,45
- b. Medium : 0,35 – 0,65
- c. High : 0,60 – 0,85



Gambar 3.7 Variabel Grafis (Output)

Gambar 3.6 memperlihatkan fungsi keanggotaan variabel Kualitas Grafis, yang merupakan variabel output dari sistem *Fuzzy mamdani*. Variabel ini menentukan tingkat visual yang akan diterapkan secara otomatis di dalam game berdasarkan kondisi performa CPU dan FPS yang terdeteksi. Nilai output memiliki domain antara 0 hingga 1, di mana nilai lebih rendah mengindikasikan kualitas grafis rendah (Low), sedangkan nilai mendekati 1 menunjukkan kualitas tinggi (High).

Himpunan Low digambarkan dengan fungsi bahu kiri (left-shoulder), yang memberikan derajat keanggotaan penuh ($\mu = 1$) untuk nilai hingga 0.25 dan menurun secara linier ke $\mu = 0$ pada 0.45. Area ini menunjukkan kondisi grafis yang dioptimalkan untuk perangkat berperforma rendah agar permainan tetap berjalan lancar.

Himpunan Medium berbentuk segitiga (triangular) dengan rentang nilai 0.35–0.50–0.65 dan puncak keanggotaan $\mu = 1$ di titik 0.50. Nilai ini mencerminkan kondisi visual seimbang antara kualitas tampilan dan performa, cocok untuk perangkat kelas menengah.

Himpunan High digambarkan dengan fungsi bahu kanan (right-shoulder), yang mulai naik dari $\mu = 0$ pada 0.60 dan mencapai $\mu = 1$ pada 0.85. Kondisi ini menunjukkan pengaturan grafis maksimal dengan detail visual tinggi dan efek rendering penuh.

Daerah tumpang tindih antara himpunan *Low–Medium* (0.35–0.45) dan *Medium–High* (0.60–0.65) memungkinkan sistem melakukan transisi halus dalam penyesuaian kualitas grafis tanpa perubahan mendadak, sehingga pengalaman pengguna tetap stabil dan nyaman. Berikut adalah rumus untuk masing-masing fungsi keanggotaan tersebut.

a. Low

$$\mu_{low}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0,25 \\ \frac{0,45 - x}{0,45 - 0,25}, & 0,25 < x < 0,45 \\ 0, & x \geq 0,45 \end{cases} \quad (3.7)$$

b. Medium

$$\mu_{medium}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0,35 \text{ atau } x \geq 0,65 \\ \frac{x - 0,35}{0,5 - 0,35}, & 0,35 < x \leq 0,5 \\ \frac{0,65 - x}{0,65 - 0,5}, & 0,5 < x < 0,65 \end{cases} \quad (3.8)$$

c. High

$$\mu_{high}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0,6 \\ \frac{x - 0,6}{0,85 - 0,6}, & 0,6 < x < 0,85 \\ 1, & x \geq 0,85 \end{cases} \quad (3.9)$$

3.3.3 Basis Aturan *Fuzzy* (Rule Base)

Basis aturan *fuzzy* (*rule base*) merupakan inti dari proses pengambilan keputusan pada sistem *Fuzzy mamdani* yang digunakan dalam penelitian ini. Aturan-aturan ini disusun berdasarkan hubungan logis antara dua variabel input, yaitu CPU (detik) dan FPS (Frame per Second), dengan satu variabel output yaitu Kualitas Grafis. Kedua variabel input masing-masing memiliki tiga himpunan *fuzzy* *Cepat*, *Sedang*, dan *Lambat* untuk CPU, serta *Rendah*, *Sedang*, dan *Tinggi* untuk FPS. Kombinasi dari kedua input tersebut menghasilkan sembilan aturan *fuzzy* ($3 \times 3 = 9$ kombinasi), yang digunakan untuk menentukan nilai keluaran berupa kualitas grafis dengan kategori *Low*, *Medium*, dan *High*.

Penyusunan aturan dilakukan berdasarkan logika performa perangkat. Apabila CPU berada pada kondisi *Cepat* dan FPS *Tinggi*, maka kualitas grafis dapat ditingkatkan ke *High* karena perangkat memiliki kemampuan yang baik. Sebaliknya, apabila CPU *Lambat* dan FPS *Rendah*, sistem menurunkan kualitas grafis ke *Low* untuk menjaga kelancaran permainan. Kombinasi kondisi di antara kedua ekstrem tersebut menghasilkan keluaran *Medium*, yang berfungsi sebagai titik keseimbangan antara performa dan kualitas visual.

Tabel 3.2 Basis Aturan *Fuzzy mamdani* untuk Adaptasi Grafis

Rules	IF	AND	THEN
	CPU	FPS	Kualitas Grafis (Output)
R1	Cepat	Tinggi	High
R2	Cepat	Sedang	Medium
R3	Cepat	Rendah	Medium
R4	Sedang	Tinggi	Medium
R5	Sedang	Sedang	Medium
R6	Sedang	Rendah	Low
R7	Lambat	Tinggi	Medium
R8	Lambat	Sedang	Low
R9	Lambat	Rendah	Low

Tabel 3.2 menunjukkan sembilan aturan *fuzzy* yang digunakan untuk menentukan tingkat kualitas grafis berdasarkan kondisi CPU dan FPS. Aturan pertama hingga ketiga mencakup kondisi ketika CPU berada pada kategori *Cepat*. Dalam situasi ini, kualitas grafis ditetapkan pada *High* apabila FPS juga tinggi, sedangkan pada FPS sedang atau rendah, sistemurunkannya menjadi *Medium* untuk menjaga stabilitas performa. Aturan keempat hingga keenam mencerminkan kondisi CPU *Sedang*, di mana sistem mempertahankan *Medium* sebagai keluaran dominan, kecuali pada FPS rendah yang menghasilkan *Low*. Sementara itu, aturan ketujuh hingga kesembilan berlaku pada CPU *Lambat*, dengan kualitas grafis diturunkan menjadi *Low* atau *Medium* tergantung pada kondisi FPS.

3.3.4 Proses Implikasi dan Defuzzifikasi

Setelah tahap fuzzifikasi menghasilkan derajat keanggotaan untuk setiap himpunan *fuzzy* pada variabel input, sistem berpindah ke tahap implikasi, yaitu proses untuk menentukan keluaran dari aturan-aturan *fuzzy* yang relevan. Pada tahap ini, setiap aturan IF-THEN dalam *rule base* dievaluasi dengan menggabungkan derajat keanggotaan dari semua kondisi input menggunakan operator MIN ($\wedge$). Operator ini dipilih karena sesuai dengan prinsip logika *Fuzzy mamdani* yang menyatakan bahwa kekuatan aktivasi suatu aturan ditentukan oleh nilai terendah dari seluruh premis dalam aturan tersebut. Hasil dari implikasi berupa keluaran *fuzzy* yang sudah terpotong (clipped) berdasarkan nilai aktivasi aturan tersebut.

Jika terdapat beberapa aturan yang menghasilkan keluaran dalam kategori yang sama, maka dilakukan tahap agregasi dengan operator MAX ($\vee$) untuk

menggabungkan seluruh keluaran *fuzzy* menjadi satu himpunan *fuzzy* komposit. Agregasi ini mewakili seluruh kemungkinan kualitas grafis yang dapat ditetapkan sistem berdasarkan kondisi performa perangkat.

Tahap terakhir adalah defuzzifikasi, yaitu proses mengubah himpunan *fuzzy* hasil agregasi menjadi satu nilai tegas (*crisp output*) yang akan digunakan sebagai acuan dalam pengaturan kualitas grafis di dalam game. Dalam penelitian ini digunakan metode centroid atau titik berat karena mampu menghasilkan nilai keluaran yang stabil dan representatif terhadap distribusi *fuzzy*. Metode ini menghitung titik pusat massa dari kurva keluaran *fuzzy* yang telah terbentuk. Nilai akhir hasil defuzzifikasi kemudian dipetakan ke dalam salah satu kategori kualitas grafis, yaitu Low, Medium, atau High, yang selanjutnya akan diterapkan langsung ke *Unity Quality Settings* sebelum permainan berlangsung.

Dengan proses implikasi dan defuzzifikasi ini, sistem *Fuzzy mamdani* dapat mengambil keputusan adaptif yang lebih fleksibel dan responsif terhadap berbagai kondisi performa perangkat tanpa melibatkan pengaturan manual dari pemain.

Rumus metode centroid ditunjukkan sebagai berikut:

$$Z = \frac{\sum (\mu(z_i) \times z_i)}{\sum \mu(z_i)} \quad (3.10)$$

Keterangan:

$Z \rightarrow$ nilai keluaran tegas (*crisp output*).

$\mu(z_i) \rightarrow$ derajat keanggotaan keluaran pada titik z_i

$z_i \rightarrow$ nilai pada domain keluaran.

Metode centroid bekerja dengan cara menghitung posisi titik berat dari area keluaran *fuzzy* yang telah terpotong (*clipped*) oleh hasil implikasi aturan. Pada implementasi numerik berbasis sistem digital, persamaan ini digunakan dalam bentuk diskret melalui pendekatan penjumlahan.

Jika hanya satu himpunan *fuzzy* yang aktif dan bentuk segitiganya simetris, maka nilai centroid dapat bertepatan dengan titik tengah segitiga tersebut karena distribusi area di kiri dan kanan bersifat seimbang.

3.3.5 Contoh Perhitungan

Berikut adalah contoh dari perhitungan secara manual menggunakan metode *Fuzzy mamdani* untuk menentukan grafis pada game *trash tycoon*, misalnya diberikan nilai input sebagai berikut:

- a. CPU = 1,23 detik
- b. FPS = 55,8

1. Fuzzifikasi

Tabel 3.3 Perhitungan Fuzzifikasi

Variabel	Nilai Input	Himpunan <i>Fuzzy</i>	Fungsi Keanggotaan	Nilai μ
CPU (detik)	1,23	Cepat	$(1,23 \geq 1,00) \rightarrow 0$	0,00
		Sedang	$(1,23 - 0,80) / (1,30 - 0,80)$	0,86
		Lambat	$(1,23 \leq 1,60) \rightarrow 0$	0,00
FPS	55,8	Rendah	$(55,8 \geq 40) \rightarrow 0$	0,00
		Sedang	$(75 - 55,8) / (75 - 55)$	0,96
		Tinggi	$(55,8 \leq 65) \rightarrow 0$	0,00

Hasil fuzzifikasi menunjukkan bahwa:

CPU: Cepat = 0,00, Sedang = 0,86, Lambat = 0,00, FPS: Rendah = 0,00, Sedang = 0,96, Tinggi = 0,00.

2. Aturan *Fuzzy* yang Relevan

Derajat keanggotaan aktif dari Tahap 1:

CPU: Cepat = 0.00, Sedang = 0.86, Lambat = 0.00, FPS: Rendah = 0.00, Sedang = 0.96, Tinggi = 0.00.

Tabel 3.4 Evaluasi aturan (operator AND = min)

Rules	CPU	FPS	THEN (Kualitas Grafis)
R5	Sedang	Sedang	Medium

3. Implikasi

Tabel 3.5 Perhitungan Implikasi

Rules	CPU	FPS	Operator	α -Rule = $\min(\mu_{CPU}, \mu_{FPS})$	Output (Kualitas Grafis)
R5	Sedang (0,86)	Sedang (0,96)	min	0,86	Medium

a. Kesimpulan Implikasi:

Himpunan Medium menerima kontribusi aturan (R5), sehingga nilai tertinggi = 0,86, Himpunan Low tidak aktif $\rightarrow \mu_{Low} = 0$, Himpunan High tidak aktif $\rightarrow \mu_{High} = 0$

b. Agregasi Output:

Hasil clipping pada fungsi keluaran menunjukkan medium diclipping pada $\mu = 0,86$, low tidak aktif, high tidak aktif

Bidang hasil agregasi terdiri dari segitiga Medium yang terpotong pada tinggi 0,86.

4. Defuzzifikasi (Metode Centroid)

Tabel 3.6 Perhitungan Luas (A) dan Momen (M)

Bagian	Bentuk	Rentang Z	Tinggi Max	Luas (A)	Titik Tengah	Momen (M)
A1	Segitiga Terpotong (Medium)	0.35 – 0.65	0.86	0.1290	0.50	0.0645
	Total			0.1290		0.0645

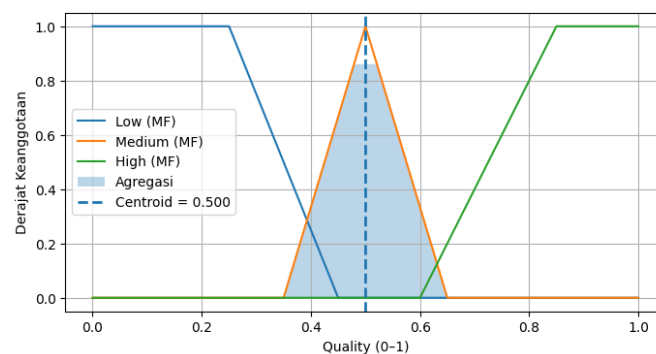
Hasil Defuzzifikasi:

$$z = \frac{0,1290}{0.0645} = 0,500 \quad (3.11)$$

Interpretasi Output

Low jika $Z < 0,35$, Medium jika $0,35 < Z < 0,60$, High jika $Z > 0,60$. Karena $Z = 0,500$ dan kategorinya Medium.

Dengan input CPU = 1,23 detik dan FPS = 55,8 FPS, sistem *Fuzzy mamdani* memutuskan bahwa kualitas grafis yang sesuai untuk menjaga performa game tetap stabil adalah Medium Quality (*Unity Quality Settings*).



Gambar 3.8 Agregasi Output dan Centroid (Defuzzifikasi)

Gambar 3.7 menunjukkan proses agregasi pada keluaran *fuzzy* setelah seluruh aturan dalam sistem Mamdani dievaluasi berdasarkan input CPU dan FPS yang diberikan. Area berwarna biru pada grafik merepresentasikan hasil clipping dari aturan aktif, yaitu himpunan Medium pada variabel keluaran kualitas grafis.

Pada kondisi input CPU = 1,23 detik dan FPS = 55,8, hanya aturan R5 yang aktif sehingga menghasilkan keluaran Medium dengan derajat keanggotaan maksimum sebesar 0,86.

Selanjutnya dilakukan proses defuzzifikasi menggunakan metode centroid, di mana titik pusat massa dari area agregasi dihitung untuk memperoleh nilai keluaran tegas (*crisp value*). Pada gambar terlihat sebuah garis putus-putus yang menunjukkan titik centroid pada nilai:

$$Z = 0.500$$

Nilai ini berada dalam rentang kategori Medium ($0,35 < Z < 0,60$), sehingga sistem mengklasifikasikan kualitas grafis sebagai Medium Quality. Hasil ini menunjukkan bahwa perangkat mampu menjalankan game dengan kualitas grafis menengah untuk menjaga keseimbangan antara performa dan tampilan visual.

3.4 Desain Pengujian Sistem

Tahap pengujian dalam penelitian ini difokuskan untuk mengevaluasi kinerja sistem adaptasi otomatis kualitas grafis berbasis logika *Fuzzy mamdani* yang diterapkan dalam game edukasi Trash Tycoon. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem mampu membaca nilai CPU Time dan FPS dengan benar, memproses data melalui mekanisme *fuzzy* secara tepat, serta menghasilkan keputusan kualitas grafis yang sesuai dengan kondisi performa perangkat.

Pengujian pada penelitian ini tidak hanya menitikberatkan pada ketepatan keputusan sistem secara teknis, tetapi juga pada dampak dari keputusan tersebut terhadap performa permainan. Oleh karena itu, metode pengujian yang digunakan tidak berbasis pada perhitungan akurasi numerik, melainkan melalui analisis performa sistem secara langsung saat game dijalankan. Evaluasi dilakukan dengan mengamati kesesuaian output kualitas grafis terhadap kondisi perangkat, serta pengaruhnya terhadap kestabilan permainan.

Melalui desain pengujian ini, dapat diketahui sejauh mana sistem *Fuzzy mamdani* yang dikembangkan mampu bekerja secara konsisten dan andal dalam menyesuaikan kualitas grafis pada berbagai kondisi perangkat. Hasil pengujian diharapkan dapat memberikan gambaran yang objektif mengenai kemampuan

sistem dalam menjaga keseimbangan antara kualitas visual dan performa permainan, sehingga game tetap dapat berjalan secara optimal.

3.4.1 Pengujian Kesesuaian Output Sistem

Pengujian kesesuaian output sistem dilakukan untuk mengevaluasi apakah hasil keputusan kualitas grafis yang dihasilkan oleh sistem *Fuzzy mamdani* sesuai dengan kondisi performa perangkat. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem mampu menghasilkan keputusan yang logis dan konsisten berdasarkan nilai input yang diberikan.

Proses pengujian dilakukan dengan memasukkan nilai CPU Time dan Frame Per Second (FPS) yang diperoleh dari beberapa perangkat dengan spesifikasi yang berbeda. Nilai input tersebut kemudian diproses oleh sistem *fuzzy* untuk menghasilkan output berupa kategori kualitas grafis, yaitu Low, Medium, atau High.

Hasil output yang diperoleh tidak dibandingkan menggunakan perhitungan akurasi numerik, melainkan dianalisis secara logis berdasarkan hubungan antara performa perangkat dan kualitas grafis yang dihasilkan. Perangkat dengan nilai CPU Time yang rendah dan FPS yang tinggi diharapkan menghasilkan kualitas grafis High, sedangkan perangkat dengan nilai CPU Time yang tinggi dan FPS yang rendah menghasilkan kualitas grafis Low. Untuk kondisi performa menengah, sistem diharapkan menghasilkan kualitas grafis Medium.

Melalui pengujian ini, dapat diamati pola hubungan antara nilai input dan output yang dihasilkan oleh sistem. Apabila hasil keputusan sistem sesuai dengan

karakteristik performa perangkat, maka sistem dapat dikatakan mampu bekerja secara konsisten dalam menentukan kualitas grafis secara adaptif.

Hasil dari pengujian ini selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel dan dianalisis pada Bab IV untuk menunjukkan kesesuaian antara kondisi performa perangkat dengan kualitas grafis yang dihasilkan oleh sistem.

3.4.2 Pengujian Stabilitas Performa Game

Penelitian ini melakukan pengujian stabilitas performa game untuk mengetahui bagaimana kualitas grafis yang dihasilkan oleh sistem adaptasi mempengaruhi kinerja permainan pada berbagai perangkat. Pengujian ini bertujuan untuk melihat apakah kualitas grafis yang ditentukan oleh sistem *fuzzy* dapat menghasilkan performa permainan yang stabil selama gameplay berlangsung.

Pengujian stabilitas performa dilakukan dengan merekam nilai Frame Per Second (FPS) selama permainan berlangsung. Nilai FPS direkam secara berkala dan disimpan dalam bentuk file CSV sehingga dapat digunakan untuk analisis performa game. Data tersebut kemudian digunakan untuk membuat grafik FPS terhadap waktu (FPS vs Time) yang menggambarkan perubahan performa game selama permainan berlangsung.

Melalui grafik tersebut dapat dianalisis beberapa aspek performa permainan, seperti fluktuasi FPS, kestabilan FPS, serta momen terjadinya penurunan performa (drop FPS). Analisis ini digunakan untuk mengetahui apakah sistem adaptasi grafis mampu menjaga performa permainan tetap stabil pada berbagai perangkat dengan spesifikasi yang berbeda.

3.4.3 Pengukuran Lag pada Permainan

Selain analisis FPS, penelitian ini juga melakukan pengukuran terhadap lag yang terjadi selama permainan berlangsung. Lag dalam penelitian ini didefinisikan sebagai kondisi ketika nilai FPS mengalami penurunan yang signifikan sehingga menyebabkan permainan terasa tidak lancar.

Pengukuran lag dilakukan dengan mengamati nilai FPS yang direkam selama gameplay. Setiap penurunan FPS yang berada di bawah batas kestabilan tertentu dicatat sebagai kejadian lag. Dari data tersebut kemudian dihitung jumlah lag yang terjadi serta total durasi lag selama permainan berlangsung.

Data jumlah lag dan durasi lag digunakan untuk mengetahui seberapa sering gangguan performa terjadi selama permainan. Semakin sedikit jumlah lag dan semakin singkat durasi lag yang terjadi, maka performa game dapat dianggap lebih stabil.

3.4.4 Pengukuran Tingkat Kenyamanan Bermain

Selain pengujian performa teknis, penelitian ini juga melakukan evaluasi terhadap tingkat kenyamanan bermain pada setiap perangkat yang diuji. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengalaman pemain saat menjalankan game dengan kualitas grafis yang telah ditentukan oleh sistem adaptasi.

Setelah melakukan pengujian gameplay, pemain diminta memberikan penilaian terhadap kenyamanan bermain menggunakan skala penilaian dari 1 hingga 5. Skala tersebut digunakan untuk menggambarkan tingkat kenyamanan pemain saat menjalankan game.

Tabel 3.7 Skor Kenyamanan

Skor	Keterangan
1	Sangat Tidak Nyaman
2	Tidak Nyaman
3	Cukup
4	Nyaman
5	Sangat Nyaman

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Game Trash Tycoon

Pada tahap ini dilakukan implementasi dari rancangan game yang telah dijelaskan pada Bab III ke dalam bentuk aplikasi yang dapat dijalankan. Implementasi ini mencakup pembangunan lingkungan permainan, mekanisme gameplay, serta integrasi elemen-elemen utama yang mendukung jalannya permainan secara keseluruhan.

Game Trash Tycoon dikembangkan menggunakan *Unity Engine* dengan mengusung konsep simulasi pengelolaan sampah berbasis edukasi. Pemain berinteraksi dengan lingkungan permainan melalui aktivitas utama seperti mengumpulkan sampah, mengolahnya menggunakan mesin daur ulang, serta memperoleh koin yang digunakan untuk melakukan perbaikan dan peningkatan mesin.

Selain itu, pada tahap implementasi ini juga dilakukan integrasi sistem adaptasi kualitas grafis berbasis *Fuzzy mamdani* ke dalam game. Sistem tersebut bekerja secara otomatis untuk menyesuaikan kualitas grafis berdasarkan kondisi performa perangkat, sehingga permainan tetap dapat berjalan secara optimal pada berbagai spesifikasi perangkat.

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai hasil implementasi game, pada subbab berikut akan dijelaskan tampilan game, mekanisme gameplay, serta integrasi sistem adaptasi grafis yang telah diterapkan.

4.1.1 Tampilan Game

Tampilan game Trash Tycoon merupakan hasil implementasi antarmuka pengguna (User Interface/UI) yang dirancang untuk memudahkan pemain dalam berinteraksi dengan sistem permainan. Tampilan game terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu menu utama (main menu) dan tampilan gameplay yang menampilkan lingkungan permainan secara langsung.



Gambar 4. 1 Tampilan Menu Utama

Gambar 4.1 menunjukkan tampilan menu utama dari game Trash Tycoon. Pada tampilan ini terdapat beberapa tombol utama yang digunakan untuk mengakses fitur permainan, yaitu tombol Start untuk memulai permainan, Settings untuk mengatur konfigurasi game, serta Quit untuk keluar dari permainan.

Selain itu, tampilan menu utama juga dilengkapi dengan elemen visual berupa ilustrasi lingkungan daur ulang dan karakter utama yang merepresentasikan tema edukasi pengelolaan sampah. Desain antarmuka dibuat sederhana dan berwarna cerah agar mudah dipahami serta menarik bagi pemain.



Gambar 4.2 Tampilan Gameplay

Gambar 4.2 menunjukkan tampilan gameplay saat pemain berada di dalam permainan. Pada tampilan ini, pemain dapat melihat lingkungan permainan berupa area pengolahan sampah dengan berbagai objek interaktif seperti mesin daur ulang, tempat sampah, serta karakter pemain.

Pada bagian atas layar terdapat beberapa informasi utama, antara lain *time Remaining* yang menunjukkan waktu permainan yang tersisa, *Trash in Truck* yang menunjukkan jumlah sampah yang telah dikumpulkan, *Current Coins* yang menunjukkan jumlah koin yang dimiliki pemain.

Sedangkan pada sisi kanan layar terdapat indikator durability mesin, yang menunjukkan kondisi mesin pengolahan sampah berdasarkan jenisnya, seperti organic, anorganic, dan B3. Indikator ini berfungsi untuk membantu pemain dalam mengelola performa mesin selama permainan berlangsung.

Pada bagian bawah layar (debug/overlay), juga ditampilkan informasi performa sistem seperti nilai CPU Time, FPS, serta hasil output kualitas grafis yang dihasilkan oleh sistem *fuzzy*. Informasi ini digunakan sebagai bagian dari implementasi sistem adaptasi grafis otomatis.

Selain itu, terdapat tombol interaksi seperti Shop dan Guide yang memungkinkan pemain untuk mengakses fitur tambahan dalam permainan.



Gambar 4.3 UI dalam Gameplay

Gambar 4.3 menunjukkan panel shop yang Dimana didalam panel terdapat beberapa opsi, diantaranya yaitu upgrade ketiga mesin daur ulang dan memperbaiki mesin. Pada bagian bawah juga ditampilkan keadaan mesin saat ini dan jumlah koin yang ada, agar player tahu mesin mana yang perlu diperbaiki dan mesin mana yang perlu diupgrade.



Gambar 4.4 Tampilan Panduan Klasifikasi Sampah

Gambar 4.4 menunjukkan tampilan panduan dalam game *Trash Tycoon* yang memberikan informasi kepada pemain mengenai proses pemilahan sampah

berdasarkan jenisnya, yaitu sampah organik, anorganik, dan B3. Pada tampilan ini, pemain diarahkan untuk menempatkan sampah sesuai dengan jenisnya ke dalam mesin pengolahan yang tepat.

Pada bagian organik, ditampilkan contoh sampah berupa sisa makanan seperti buah dan bahan alami lainnya. Sampah organik merupakan sampah yang berasal dari bahan hayati dan mudah terurai secara alami, seperti sisa dapur, daun, dan bahan makanan. Sampah jenis ini dapat diolah menjadi kompos karena sifatnya yang *biodegradable*.

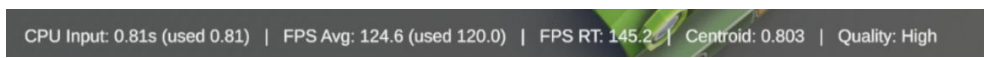
Pada bagian anorganik, ditampilkan contoh sampah seperti botol plastik dan kemasan. Sampah anorganik merupakan sampah yang berasal dari bahan non-hayati yang sulit terurai, seperti plastik, kaca, dan logam. Sampah jenis ini umumnya dapat didaur ulang melalui proses reuse dan *recycle*.

Pada bagian B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun), ditampilkan contoh sampah seperti oli dan bahan kimia. Sampah B3 merupakan jenis sampah yang mengandung zat berbahaya yang memerlukan penanganan khusus karena dapat mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia.

Implementasi klasifikasi ini dalam game bertujuan untuk memberikan edukasi kepada pemain mengenai pentingnya pemilahan sampah berdasarkan karakteristiknya. Dengan adanya fitur ini, pemain tidak hanya bermain, tetapi juga memahami konsep dasar pengelolaan sampah yang benar sesuai dengan prinsip pemilahan sampah dalam dunia nyata (Mulya et al., 2020).

4.1.2 Integrasi Sistem Adaptasi Grafis

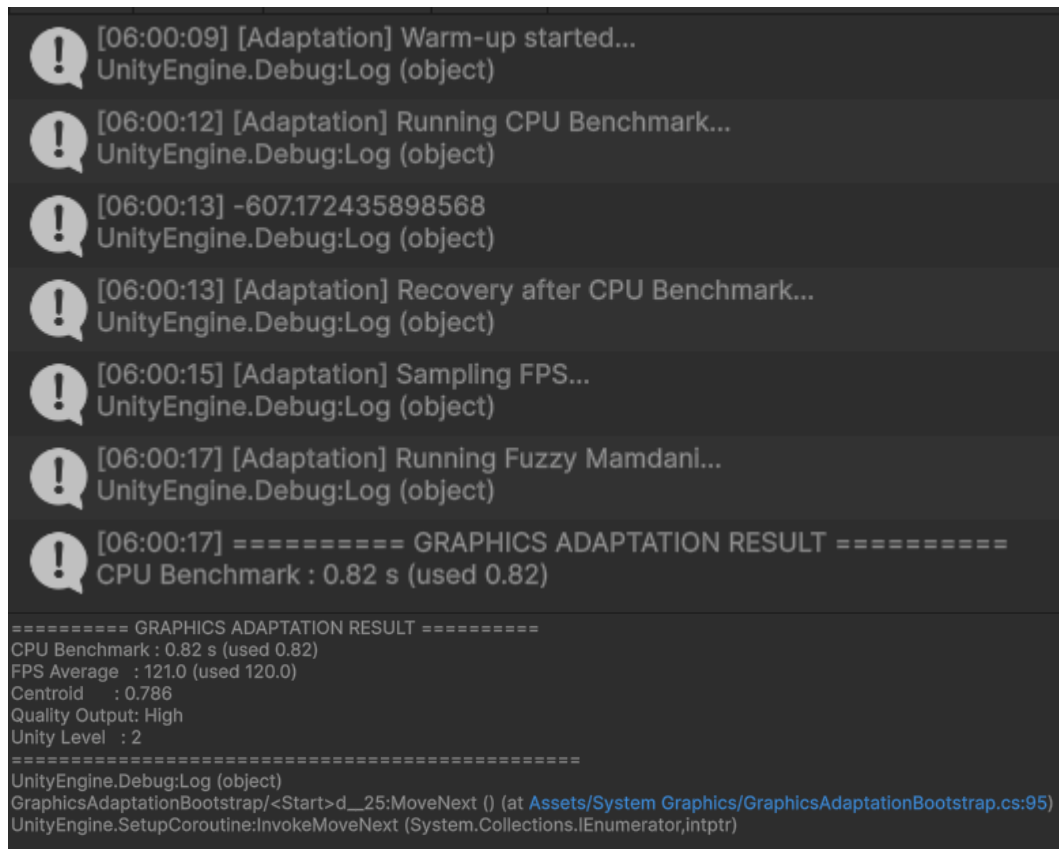
Pada tahap ini dilakukan integrasi sistem adaptasi kualitas grafis berbasis *Fuzzy mamdani* ke dalam game Trash Tycoon. Sistem ini bekerja secara otomatis dengan membaca nilai performa perangkat berupa CPU Time dan Frame Per Second (FPS), kemudian menentukan kualitas grafis yang sesuai untuk diterapkan pada permainan.



Gambar 4.5 Tampilan Gameplay Yang Telah Terintegrasi Dengan Sistem Adaptasi Grafis

Gambar 4.4 menunjukkan tampilan gameplay yang telah terintegrasi dengan sistem adaptasi grafis. Pada bagian bawah layar ditampilkan informasi debug yang berisi nilai input dan output sistem, antara lain *CPU Input*, *FPS Average*, *FPS Real-Time*, nilai centroid hasil defuzzifikasi, serta kategori kualitas grafis yang dihasilkan.

Nilai-nilai tersebut diperoleh melalui proses perhitungan sistem *fuzzy* yang berjalan pada awal permainan (scene loading), kemudian digunakan untuk menentukan level kualitas grafis seperti Low, Medium, atau High. Informasi debug ini digunakan sebagai bukti bahwa sistem adaptasi grafis berjalan secara aktif di dalam game.



Gambar 4.6 Debug Log Proses Sistem

Selain ditampilkan pada layar gameplay, hasil proses adaptasi grafis juga dapat dilihat melalui console *Unity*. Gambar 4.5 menunjukkan log proses sistem, mulai dari pengambilan data CPU, sampling FPS, hingga proses inferensi *Fuzzy mamdani* yang menghasilkan output kualitas grafis.

Pada console tersebut ditampilkan informasi seperti nilai CPU Benchmark, FPS Average, nilai centroid, serta kategori output grafis yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem telah berjalan sesuai dengan alur yang dirancang, yaitu membaca input, memproses menggunakan metode *fuzzy*, dan menghasilkan keputusan kualitas grafis.

Perlu diketahui bahwa tampilan debug dan console yang ditunjukkan pada gambar merupakan hasil pengujian pada tahap pengembangan di dalam *Unity* Editor (belum dalam bentuk build game). Data tersebut digunakan sebagai contoh untuk menunjukkan bahwa sistem adaptasi grafis telah terintegrasi dan berfungsi dengan baik sebelum game didistribusikan dalam bentuk final.

Dengan adanya integrasi ini, game Trash Tycoon mampu menyesuaikan kualitas grafis secara otomatis berdasarkan kondisi perangkat, sehingga memberikan pengalaman bermain yang lebih optimal tanpa memerlukan pengaturan manual dari pengguna.

4.2 Hasil Implementasi Sistem *Fuzzy*

Pada tahap ini dilakukan pengujian dan analisis terhadap sistem adaptasi kualitas grafis berbasis metode *Fuzzy mamdani* yang telah diintegrasikan ke dalam game Trash Tycoon. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menentukan kualitas grafis secara otomatis berdasarkan nilai input berupa CPU Time dan Frame Per Second (FPS).

Hasil implementasi sistem ditampilkan dalam bentuk output kualitas grafis yang dihasilkan, serta pengaruhnya terhadap performa permainan pada berbagai perangkat dengan spesifikasi yang berbeda. Selain itu, dilakukan analisis terhadap kestabilan FPS dan tingkat kenyamanan pengguna selama permainan berlangsung.

Untuk memberikan pemahaman yang lebih terstruktur, hasil implementasi sistem akan dibahas pada beberapa subbab, meliputi hasil output *fuzzy*, penerapan kualitas grafis dalam game, serta hasil pengujian dan analisis performa sistem.

4.2.1 Hasil Output *Fuzzy*

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap sistem *Fuzzy mamdani* yang telah diimplementasikan untuk melihat hasil keputusan yang dihasilkan berdasarkan nilai input yang diberikan. Pengujian dilakukan dengan memasukkan nilai CPU Time dan FPS dari beberapa perangkat yang berbeda, kemudian diamati output kualitas grafis yang dihasilkan oleh sistem.

Setiap perangkat memiliki karakteristik performa yang berbeda, sehingga menghasilkan kombinasi nilai CPU Time dan FPS yang beragam. Nilai-nilai tersebut kemudian diproses oleh sistem *fuzzy* untuk menghasilkan nilai output yang selanjutnya dikategorikan ke dalam kualitas grafis Low, Medium, atau High. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem dapat memberikan keputusan yang sesuai dengan kondisi performa perangkat.

Hasil pengujian ini menunjukkan bagaimana sistem *fuzzy* menerjemahkan kondisi performa perangkat menjadi keputusan kualitas grafis secara otomatis. Dengan adanya variasi input dari beberapa perangkat, dapat dilihat pola hubungan antara nilai CPU Time dan FPS terhadap kategori grafis yang dihasilkan.

Tabel 4.1 Data Uji Coba Output Fuzzy

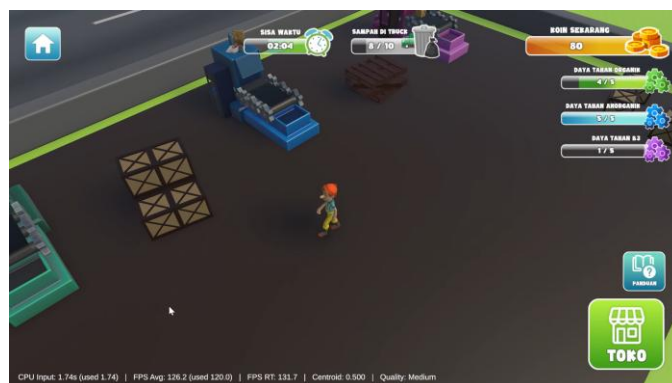
No	Laptop	Processor	RAM	GPU	CPU Time	FPS	Nilai Output	Kategori Grafis
1	Laptop 1	Intel i5-13420H	24 GB	RTX 2050	1,74 s	120	0,5	Medium
2	Laptop 2	Intel Celeron N3060	4 GB	Intel(R) HD Graphics	3 s	38	0,217	Low
3	Laptop 3	Intel i9-11900H	16 GB	RTX 3050 TI	0,77 s	90	0,82	High
4	Laptop 4	Ryzen 5 5600H	16 GB	RTX 3050 TI	0,94 s	90	0,592	Medium
5	Laptop 5	Intel i5-8350U	16 GB	Intel(R) HD Graphics	1,66 s	25,6	0,211	Low

Berdasarkan tabel 4.1, terlihat bahwa sistem *fuzzy* mampu menghasilkan keputusan kualitas grafis yang berbeda sesuai dengan kondisi performa perangkat. Perangkat dengan CPU Time yang lebih kecil dan FPS yang tinggi cenderung menghasilkan kategori grafis High, seperti pada Laptop 3 dengan CPU Time 0,77 detik dan FPS 90.

Perangkat dengan kondisi performa sedang menghasilkan kategori grafis Medium, seperti pada Laptop 1, dan Laptop 4. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun FPS cukup tinggi, nilai CPU Time yang tidak terlalu rendah tetap mempengaruhi hasil keputusan sistem.

Sedangkan perangkat dengan CPU Time yang besar dan FPS yang rendah menghasilkan kategori grafis Low, seperti pada Laptop 2 dan Laptop 5. Hal ini menunjukkan bahwa sistem menyesuaikan kualitas grafis agar game tetap dapat berjalan pada perangkat dengan kemampuan terbatas.

Untuk memperkuat hasil pengujian, ditampilkan salah satu contoh hasil implementasi sistem adaptasi grafis yang diambil langsung dari gameplay pada Laptop 1.



Gambar 4.7 Kondisi Gameplay Pada Laptop 1

Pada gambar 4.6 ditunjukkan kondisi gameplaynya untuk output medium yang dimana untuk letak perhitungan *fuzzynya* berada pada bagian pojok bawah.



CPU Input: 1.74s (used 1.74) | FPS Avg: 126.2 (used 120.0) | FPS RT: 131.7 | Centroid: 0.500 | Quality: Medium

Gambar 4.8 Perhitungan *Fuzzy* Dalam Gameplay

Berdasarkan Gambar 4.7, diperoleh nilai input berupa CPU Time sebesar 1,74 detik dan FPS Average sebesar 126,2 yang dibatasi menjadi 120. Selain itu, nilai FPS Real-Time tercatat sebesar 131,7.

Nilai input tersebut kemudian diproses menggunakan metode *Fuzzy mamdani* dan menghasilkan nilai centroid sebesar 0,500 yang termasuk dalam kategori kualitas grafis Medium. Hasil ini sesuai dengan data pada Tabel 4.1, di mana Laptop 1 menghasilkan kategori grafis Medium dengan nilai output sebesar 0,5.

Hal ini menunjukkan bahwa meskipun nilai FPS cukup tinggi, nilai CPU Time yang tidak terlalu rendah mempengaruhi keputusan sistem sehingga tidak menghasilkan kualitas grafis High. Sistem *fuzzy* mempertimbangkan kedua variabel input secara bersamaan dalam menentukan output.

Dengan demikian, hasil ini menunjukkan bahwa sistem *Fuzzy mamdani* yang diimplementasikan mampu menghubungkan nilai input (CPU Time dan FPS) dengan output kualitas grafis secara konsisten. Hal ini menjadi bukti bahwa sistem dapat menyesuaikan kualitas grafis secara otomatis sesuai dengan kondisi perangkat, sehingga menjawab rumusan masalah penelitian.

4.3 Implementasi Output *Fuzzy* pada Game

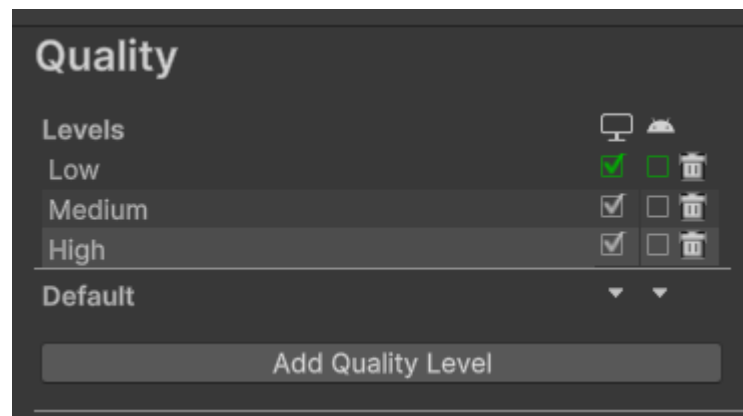
Pada tahap ini dilakukan penerapan hasil output dari sistem *Fuzzy mamdani* ke dalam game Trash Tycoon. Output yang dihasilkan berupa kategori kualitas grafis, yaitu Low, Medium, dan High, yang selanjutnya digunakan untuk mengatur konfigurasi grafis pada game secara otomatis.

Implementasi ini menunjukkan bahwa hasil keputusan sistem *fuzzy* tidak hanya berupa nilai, tetapi secara langsung mempengaruhi pengaturan visual dalam game. Setiap kategori grafis diterapkan melalui pengaturan tertentu pada *Unity* Quality Settings, sehingga tampilan game dapat menyesuaikan dengan kondisi performa perangkat.

Dengan demikian, sistem adaptasi grafis yang dikembangkan mampu menghubungkan proses perhitungan *fuzzy* dengan perubahan nyata pada tampilan game, sehingga permainan tetap dapat berjalan secara optimal pada berbagai spesifikasi perangkat.

4.3.1 Penerapan Kualitas Grafis pada Game

Setelah sistem *fuzzy* menghasilkan keputusan berupa kategori kualitas grafis, hasil tersebut diterapkan secara langsung pada pengaturan grafis di dalam *Unity* melalui fitur Quality Settings. Pada pengaturan ini, setiap kategori grafis seperti Low, Medium, dan High telah dikonfigurasi sebelumnya untuk menyesuaikan tingkat detail visual yang ditampilkan dalam game.



Gambar 4.9 Quality Settings Pada *Unity*

Setelah sistem *fuzzy* menghasilkan keputusan berupa kategori kualitas grafis, hasil tersebut diterapkan secara langsung pada pengaturan grafis di dalam *Unity* melalui fitur Quality Settings. Pada pengaturan ini, setiap kategori grafis seperti Low, Medium, dan High telah dikonfigurasi sebelumnya untuk menyesuaikan tingkat detail visual yang ditampilkan dalam game.

Gambar 4.8 menunjukkan pengaturan Quality Settings pada *Unity* yang digunakan dalam penelitian ini. Setiap level kualitas grafis memiliki konfigurasi yang berbeda, sehingga sistem dapat memilih dan menerapkan kualitas grafis sesuai dengan hasil output *fuzzy*.

Pada kategori Low, pengaturan grafis disederhanakan untuk mengurangi beban pemrosesan perangkat. Hal ini dilakukan dengan menurunkan kualitas efek visual seperti bayangan, tekstur, dan detail objek.

Pada kategori Medium, pengaturan grafis berada pada tingkat menengah dengan mempertahankan keseimbangan antara kualitas visual dan performa. Beberapa efek visual tetap ditampilkan, namun tidak sepenuhnya maksimal.

Sedangkan pada kategori High, pengaturan grafis ditingkatkan untuk menampilkan kualitas visual yang lebih baik, seperti detail objek yang lebih tinggi dan efek visual yang lebih lengkap.

Dengan adanya penerapan ini, sistem adaptasi grafis dapat secara otomatis memilih dan menerapkan kualitas grafis yang sesuai berdasarkan hasil perhitungan *fuzzy*, tanpa memerlukan pengaturan manual dari pengguna.

4.3.2 Hasil Pengujian Grafis

Menampilkan hasil dari pengujian kualitas grafis game *Trash Tycoon* yang dilakukan pada beberapa perangkat dengan spesifikasi berbeda. Tabel hasil pengujian memuat beberapa parameter yang digunakan untuk mengevaluasi performa game setelah kualitas grafis ditentukan oleh sistem *fuzzy*.

Kolom Laptop menunjukkan perangkat yang digunakan dalam pengujian. Kolom Resolusi menunjukkan ukuran tampilan yang digunakan saat menjalankan game, yang turut mempengaruhi beban grafis. Kolom Kualitas Grafis merupakan hasil keputusan sistem *fuzzy* yang diterapkan pada game, yaitu kategori Low, Medium, atau High. Kolom FPS Stabil (Y/T) menunjukkan apakah permainan berjalan dengan frame rate yang relatif konsisten selama gameplay. Kolom Jumlah Lag mencatat seberapa sering terjadi penurunan performa yang mengganggu kelancaran permainan, sedangkan kolom Total Durasi Lag menunjukkan akumulasi waktu terjadinya lag selama permainan berlangsung. Terakhir, kolom Skor Kenyamanan merupakan penilaian subjektif pemain terhadap kenyamanan bermain pada perangkat tersebut.

Dalam konteks performa game, kestabilan FPS menjadi salah satu indikator utama dalam menentukan kelancaran permainan. Secara umum, permainan dianggap dapat berjalan dengan baik apabila nilai FPS tidak mengalami penurunan yang signifikan dalam waktu singkat. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa nilai FPS minimal 30 masih dapat diterima untuk permainan, sedangkan nilai FPS di atas 60 memberikan pengalaman bermain yang lebih stabil dan halus. Oleh karena itu, kestabilan FPS dalam penelitian ini tidak hanya dilihat dari tinggi rendahnya nilai FPS, tetapi juga dari konsistensi nilainya selama permainan berlangsung. Fluktuasi yang terlalu besar atau penurunan FPS secara tiba-tiba dapat menyebabkan gangguan visual (lag), sehingga mempengaruhi kenyamanan pemain (Liu et al., 2023).

Tabel 4.2 Data Hasil Uji Coba Grafis

No	Laptop	Resolusi	Kualitas Grafis	FPS Stabil Y/T	Jumlah Lag	Total Durasi Lag	Skor Kenyamanan
1	Laptop 1	1920 x 1080	Medium	Y	1	2 s	5
2	Laptop 2	1366 x 768	Low	Y	8	14 s	3
3	Laptop 3	2560 x 1440	High	Y	1	2 s	5
4	Laptop 4	2880 x 1800	Medium	Y	3	5 s	5
5	Laptop 5	1920 x 1080	Low	Y	1	9 s	4

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel di atas, terlihat bahwa perangkat dengan kemampuan lebih tinggi cenderung menghasilkan performa yang lebih stabil. Hal ini dapat dilihat pada Laptop 3 yang menggunakan kualitas grafis High, dengan jumlah lag yang sangat sedikit (1 kali) dan durasi lag yang singkat (2 detik), sehingga menghasilkan skor kenyamanan yang tinggi.

Perangkat dengan kategori grafis Medium seperti pada Laptop 1, dan Laptop 4 juga menunjukkan performa yang cukup baik. Meskipun terdapat beberapa kejadian lag, jumlah dan durasinya masih relatif kecil sehingga permainan tetap berjalan dengan stabil dan nyaman.

Sebaliknya, perangkat dengan kategori grafis Low menunjukkan kecenderungan mengalami lag yang lebih sering. Hal ini terlihat pada Laptop 2 yang memiliki jumlah lag paling tinggi yaitu 8 kali dengan total durasi lag mencapai 14 detik, sehingga menghasilkan skor kenyamanan yang lebih rendah. Meskipun demikian, game masih dapat dimainkan karena FPS tetap stabil.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kemampuan perangkat, maka semakin stabil performa game yang dihasilkan. Sebaliknya, pada perangkat dengan spesifikasi lebih rendah, sistem menyesuaikan kualitas grafis ke level yang lebih rendah, namun masih terdapat beberapa gangguan seperti lag. Hal ini menunjukkan bahwa sistem adaptasi grafis mampu menjaga permainan tetap berjalan pada berbagai perangkat dengan tingkat kenyamanan yang berbeda.

4.3.3 Perbandingan Tampilan Grafis

Pada bagian ini ditampilkan perbandingan kualitas grafis game *Trash Tycoon* berdasarkan hasil keputusan sistem *fuzzy*, yaitu kategori High, Medium, dan Low. Perbandingan dilakukan pada scene dan posisi kamera yang sama, sehingga perbedaan visual yang terlihat hanya disebabkan oleh perubahan kualitas grafis. Setiap kategori ditampilkan secara terpisah untuk memperjelas karakteristik visual yang dihasilkan.



Gambar 4.10 Bayangan pada grafik High



Gambar 4.11 Bayangan pada grafik Medium



Gambar 4.12 Bayangan pada grafik Low

Pada gambar tersebut menunjukkan perbedaan kualitas bayangan pada masing-masing tingkat grafis. Pada Gambar 4.9 yang merepresentasikan kualitas High, bayangan objek seperti tiang lampu dan karakter terlihat jelas, tajam, serta mengikuti arah pencahayaan secara akurat sehingga memberikan kesan kedalaman pada lingkungan. Selanjutnya, pada Gambar 4.10 yang menunjukkan kualitas

Medium, bayangan masih ditampilkan namun terlihat lebih halus dan tidak setajam pada kualitas High, sehingga detail bayangan mulai berkurang. Sementara itu, pada Gambar 4.11 yang merupakan kualitas Low, bayangan sebagian besar dihilangkan atau ditampilkan sangat minim, sehingga objek terlihat lebih datar dan kurang memiliki dimensi visual.



Gambar 4.13 Warna pada Grafik High



Gambar 4.14 Warna pada Grafik Medium



Gambar 4.15 Warna pada Grafik Low

Pada Gambar 4.12 yang merepresentasikan kualitas High, tampilan warna terlihat lebih hidup dengan gradasi yang halus serta pencahayaan yang lebih natural, sehingga memberikan kesan visual yang lebih realistis. Selanjutnya, pada Gambar 4.13 yang menunjukkan kualitas Medium, warna masih terlihat cukup baik namun intensitas dan gradasinya mulai berkurang, sehingga tampilan menjadi lebih sederhana dibandingkan kualitas High. Sementara itu, pada Gambar 4.14 yang merupakan kualitas Low, warna terlihat lebih datar dengan pencahayaan yang minim, sehingga tampilan keseluruhan menjadi kurang realistis dan lebih sederhana.



Gambar 4.16 Tekstur pada Grafik High



Gambar 4.17 Tekstur pada Grafik Medium



Gambar 4.18 Tekstur pada Grafik Low

Pada Gambar 4.15 yang menunjukkan kualitas High, tekstur objek seperti jembatan, rumput, dan permukaan tanah terlihat lebih halus dan detail, sehingga memberikan kesan visual yang lebih nyata. Pada Gambar 4.16 yang merepresentasikan kualitas Medium, tekstur masih terlihat namun dengan tingkat detail yang lebih rendah, sehingga tampilan menjadi sedikit lebih sederhana. Sedangkan pada Gambar 4.17 yang menunjukkan kualitas Low, tekstur disederhanakan secara signifikan, terlihat dari permukaan objek yang lebih polos dan kurang detail, sehingga mengurangi beban pemrosesan perangkat.

4.4 Analisis Stabilitas FPS

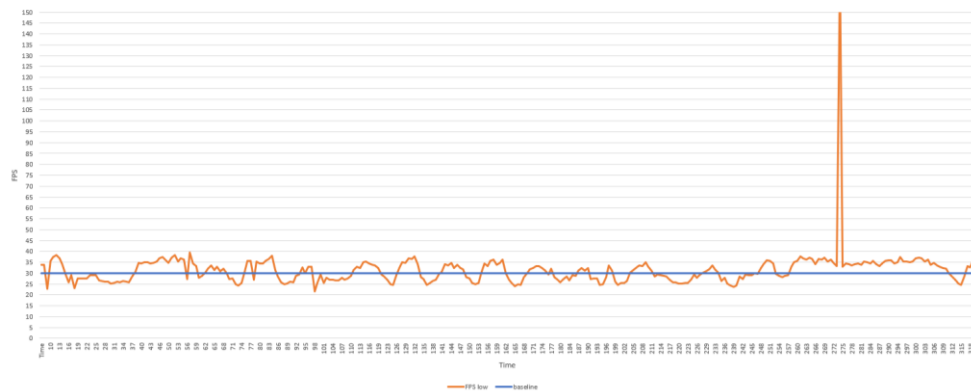
Pada bagian ini dilakukan analisis terhadap kestabilan Frame Per Second (FPS) selama permainan berlangsung. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui apakah game dapat berjalan dengan lancar pada berbagai perangkat setelah kualitas grafis ditentukan oleh sistem *fuzzy*.

Data FPS yang telah direkam selama permainan digunakan untuk melihat perubahan nilai FPS dari waktu ke waktu. Dari data tersebut dapat diketahui apakah

FPS yang dihasilkan stabil atau mengalami penurunan yang dapat menyebabkan lag selama permainan.

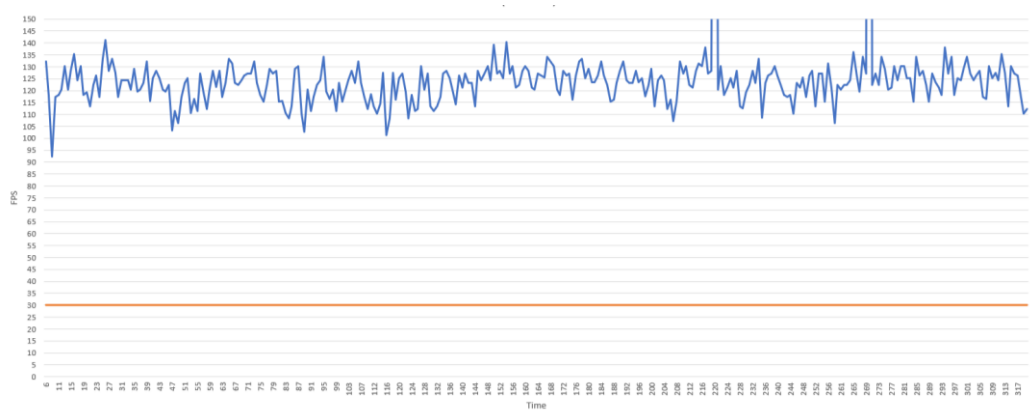
4.4.1 Analisis Grafik FPS

Analisis terhadap grafik FPS terhadap waktu untuk melihat pola kestabilan performa game pada masing-masing kategori grafis. Analisis difokuskan pada tren grafik, bukan hanya nilai FPS semata, sehingga dapat diketahui bagaimana sistem mempertahankan performa selama permainan berlangsung.



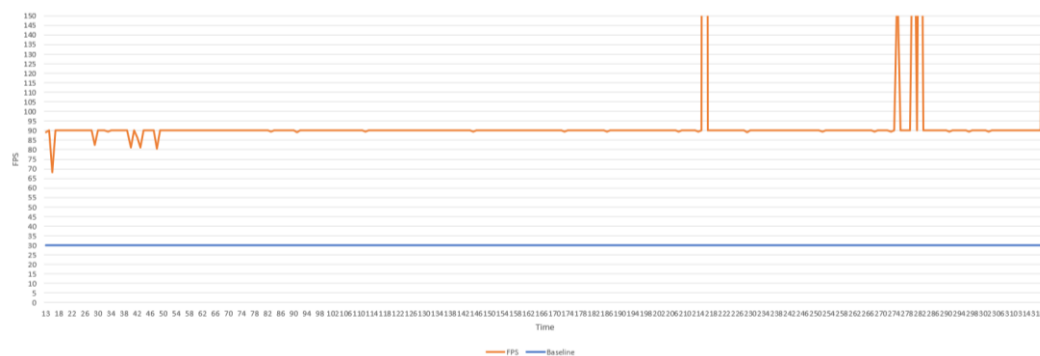
Gambar 4.19 Grafik Low

Pada pengaturan grafik *Low*, grafik menunjukkan pola fluktuasi yang signifikan dengan deviasi nilai yang tajam. Nilai *frame rate* (FPS) mengalami ketidakstabilan dalam rentang tertentu, yang mengindikasikan bahwa perangkat masih menerima beban komputasi yang substansial pada tingkat grafis rendah. Meskipun demikian, mayoritas nilai FPS tetap berada pada ambang batas minimum fungsional, yaitu ≥ 30 FPS, sehingga *game* tetap dapat dioperasikan secara layak meskipun tingkat kehalusan visualnya tidak setinggi kategori lainnya.



Gambar 4.20 Grafik Medium

Pada grafik Medium, pola grafik terlihat lebih stabil dibandingkan kategori Low. Perubahan FPS masih terjadi, namun tidak terlalu ekstrem dan cenderung berada dalam rentang yang lebih konsisten. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi Medium mampu menjaga keseimbangan antara kualitas grafis dan performa. Selain itu, sebagian besar FPS berada di atas 30 FPS dan mendekati kondisi yang lebih nyaman.



Gambar 4.21 Grafik High

Sedangkan pada grafik High, grafik terlihat paling stabil dengan garis yang relatif halus. Perubahan FPS sangat kecil dan jarang terjadi penurunan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa perangkat dengan kemampuan tinggi

mampu mempertahankan performa secara konsisten, bahkan berada pada kondisi yang mendekati ≥ 60 FPS, yang secara umum dianggap stabil dan nyaman untuk bermain.

Pada ketiga grafik tersebut juga terlihat adanya spike, yaitu lonjakan atau penurunan FPS secara tiba-tiba. Spike ini umumnya terjadi akibat proses tertentu dalam game, seperti rendering objek baru, perpindahan area, atau pemrosesan efek visual. Keberadaan spike merupakan hal yang wajar selama tidak terjadi secara terus-menerus dan tidak menyebabkan penurunan FPS dalam jangka waktu yang lama.

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa kestabilan FPS lebih ditentukan oleh konsistensi pola grafik daripada nilai FPS yang tinggi. Grafik yang lebih halus dengan perubahan kecil menunjukkan performa yang lebih stabil, sedangkan grafik yang bergerigi menunjukkan adanya fluktuasi performa. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem adaptasi grafis mampu menjaga performa game tetap berada dalam kondisi yang dapat dimainkan hingga nyaman, sesuai dengan kemampuan perangkat yang digunakan.

4.4.2 Kriteria Stabilitas FPS

Frame rate atau Frame Per Second (FPS) merupakan salah satu parameter utama dalam menentukan kualitas visual pada game. FPS menunjukkan jumlah frame yang ditampilkan setiap detik, di mana semakin tinggi nilai FPS maka tampilan game akan semakin halus dan responsif terhadap input pemain.

Namun, berdasarkan penelitian oleh (Liu et al., 2023), nilai rata-rata FPS saja tidak cukup untuk menggambarkan kualitas pengalaman bermain (Quality of

Experience/QoE). Hal ini dikarenakan variasi frame rate (frame rate variation) juga memiliki pengaruh signifikan terhadap kenyamanan pemain. Meskipun nilai FPS rata-rata tinggi, jika terjadi fluktuasi yang tidak stabil maka game tetap dapat terasa patah-patah (choppy).

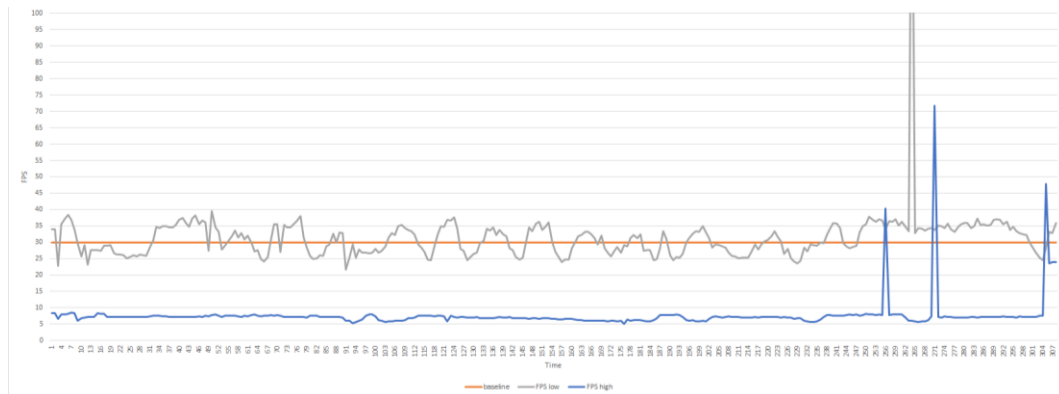
Selain itu, penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penurunan FPS di bawah batas tertentu akan berdampak langsung terhadap performa dan kenyamanan bermain. Claypool & Claypool menyatakan bahwa frame rate di bawah 30 FPS secara signifikan menurunkan performa dan pengalaman bermain, terutama pada game yang membutuhkan respons cepat.

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, maka dalam penelitian ini digunakan kriteria stabilitas FPS adalah $FPS < 30 \rightarrow$ dikategorikan tidak stabil, karena tampilan game terasa patah-patah dan mengganggu pengalaman bermain, $FPS \geq 30 \rightarrow$ dikategorikan stabil, karena game dapat berjalan dengan cukup lancar dan responsif

Dengan demikian, nilai 30 FPS digunakan sebagai batas minimum untuk menentukan apakah suatu game dapat berjalan dengan baik (playable) atau tidak.

4.4.3 Analisis Perbandingan Pengujian dengan dan tanpa Sistem

Pada bagian ini dilakukan analisis perbandingan performa game *Trash Tycoon* antara kondisi tanpa menggunakan sistem adaptasi grafis dan dengan menggunakan sistem adaptasi berbasis *Fuzzy mamdani*. Analisis dilakukan menggunakan data FPS yang direpresentasikan dalam bentuk grafik untuk melihat kestabilan performa selama permainan berlangsung.



Gambar 4.22 Perbandingan FPS Menggunakan Sistem dan Tanpa Sistem

Gambar 4.22 menunjukkan grafik perbandingan nilai Frame Per Second (FPS) antara kondisi tanpa menggunakan sistem adaptasi grafis dan dengan menggunakan sistem adaptasi berbasis *Fuzzy mamdani*. Pada grafik tersebut, garis baseline menunjukkan batas minimum stabilitas FPS yaitu 30 FPS, garis FPS low merepresentasikan kondisi dengan sistem adaptasi, sedangkan garis FPS high menunjukkan kondisi tanpa sistem dengan kualitas grafis High yang dipaksakan pada perangkat dengan spesifikasi rendah.

Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa pada kondisi tanpa sistem (FPS high), nilai FPS cenderung berada pada kisaran sekitar 5–8 FPS sepanjang waktu pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa performa game berada jauh di bawah batas stabilitas 30 FPS. Selain itu, terdapat beberapa lonjakan nilai FPS yang sangat tinggi (outlier), namun lonjakan tersebut tidak konsisten dan tidak mencerminkan kondisi performa yang sebenarnya. Secara keseluruhan, kondisi ini menunjukkan bahwa game tidak berjalan secara stabil dan tidak layak dimainkan pada pengaturan grafis tinggi di perangkat dengan spesifikasi rendah.

Sebaliknya, pada kondisi menggunakan sistem adaptasi (FPS low), nilai FPS berada di sekitar kisaran 25–35 FPS dan cenderung mengikuti garis baseline 30 FPS. Meskipun terdapat fluktuasi kecil, nilai FPS relatif stabil dan sebagian besar berada di sekitar atau di atas batas minimum stabilitas. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu menyesuaikan kualitas grafis sehingga performa game tetap terjaga.

Perbandingan antara kedua kondisi tersebut menunjukkan perbedaan yang signifikan. Tanpa sistem, FPS berada jauh di bawah standar stabilitas, sedangkan dengan sistem, FPS dapat dipertahankan mendekati atau sesuai dengan batas stabilitas yang telah ditentukan.

Dengan demikian, grafik ini membuktikan bahwa sistem adaptasi grafis berbasis *Fuzzy mamdani* mampu meningkatkan stabilitas performa game secara signifikan, serta menjaga FPS tetap berada dalam kondisi yang lebih optimal dan layak dimainkan pada perangkat dengan spesifikasi rendah.

4.5 Integrasi Dalam Islam

Penelitian ini tidak hanya berfokus pada aspek teknis dalam pengembangan sistem adaptasi grafis, tetapi juga memiliki keterkaitan dengan nilai-nilai keislaman. Sistem yang dikembangkan bertujuan untuk memberikan kemudahan bagi pengguna dalam menikmati permainan tanpa harus melakukan pengaturan yang kompleks. Hal ini selaras dengan prinsip Islam yang menekankan kemudahan (*yusr*), kebermanfaatan, dan tidak memberatkan manusia dalam menjalankan aktivitasnya.

Implementasi sistem adaptasi grafis yang mampu menyesuaikan kualitas secara otomatis mencerminkan nilai kemudahan dan efisiensi, sehingga pengguna dari berbagai kondisi perangkat tetap dapat merasakan pengalaman bermain yang optimal. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan solusi teknis, tetapi juga mencerminkan nilai-nilai Islam dalam kehidupan modern.

4.5.1 Muamalah Ma'a Allah

Hubungan manusia dengan Allah (muamalah ma'a Allah) dalam penelitian ini tercermin melalui penerapan prinsip kemudahan (*yusr*) dalam pengembangan sistem. Sebagaimana dijelaskan dalam Al-Qur'an pada Q.S. Al-Baqarah ayat 185:

.....يُرِيدُ اللَّهُ بِكُمُ الْيُسْرَ وَلَا يُرِيدُ بِكُمُ الْعُسْرَ..... ﴿١٨٥﴾

“Allah menghendaki kemudahan bagimu, dan tidak menghendaki kesukaran bagimu...” (Q.S. Al-Baqarah: 185)

Prinsip ini menjadi landasan bahwa setiap aktivitas, termasuk dalam pengembangan teknologi, seharusnya memberikan kemudahan dan tidak memberatkan pengguna.

Sistem adaptasi grafis yang dikembangkan dalam penelitian ini dirancang untuk secara otomatis menyesuaikan kualitas grafis berdasarkan kemampuan perangkat, sehingga pengguna tidak perlu melakukan pengaturan yang rumit. Dengan adanya sistem ini, pemain tetap dapat menikmati permainan dengan optimal tanpa terbebani oleh keterbatasan teknis.

Hal ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi dapat selaras dengan nilai-nilai keislaman, di mana kemudahan menjadi bagian dari bentuk implementasi

ajaran Allah dalam kehidupan sehari-hari. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan tidak hanya memberikan solusi teknis, tetapi juga mencerminkan upaya menghadirkan kemaslahatan dan kemudahan sebagaimana yang dianjurkan dalam Islam.

4.5.2 Muamalah Ma'a An-Nas

Hubungan manusia dengan sesama manusia (muamalah ma'a an-nas) dalam penelitian ini tercermin melalui upaya pengembangan sistem yang memberikan manfaat bagi pengguna serta meningkatkan kenyamanan dalam bermain game. Dalam Islam, manusia dianjurkan untuk memberikan kemudahan dan tidak menyulitkan orang lain dalam setiap aspek kehidupan. Sebagaimana dijelaskan dalam Al-Qur'an:

.....وَتَعَاوَنُوا عَلَى الْبِرِّ وَالتَّقْوَىٰ وَلَا تَعَاوَنُوا عَلَى الْإِثْمِ وَالْعُدْوَانِ..... ﴿٢﴾

“Dan tolong-menolonglah kamu dalam (mengerjakan) kebajikan dan takwa, dan jangan tolong-menolong dalam berbuat dosa dan permusuhan.” (Q.S. Al-Ma'idah: 2)

Ayat tersebut menunjukkan pentingnya kerja sama dan memberikan manfaat bagi sesama dalam kehidupan bermasyarakat. Dalam konteks penelitian ini, sistem adaptasi grafis yang dikembangkan bertujuan untuk membantu pengguna dengan berbagai spesifikasi perangkat agar tetap dapat memainkan game dengan nyaman. Sistem ini secara otomatis menyesuaikan kualitas grafis tanpa memerlukan pengaturan manual, sehingga dapat meminimalkan kesulitan yang dihadapi pengguna, terutama bagi yang memiliki keterbatasan pengetahuan teknis.

Dengan demikian, pengembangan sistem ini tidak hanya berfokus pada aspek teknis, tetapi juga memberikan kontribusi dalam bentuk kemudahan dan kenyamanan bagi pengguna. Hal ini sejalan dengan nilai muamalah dalam Islam yang menekankan pentingnya memberikan manfaat, kemudahan, serta membantu sesama dalam kehidupan sehari-hari.

4.5.3 Muamalah Ma'al Bi'ah

Hubungan manusia dengan lingkungan (muamalah ma'al bi'ah) dalam penelitian ini tercermin melalui tema game *Trash Tycoon* yang mengangkat konsep pengelolaan sampah dan kepedulian terhadap lingkungan. Dalam Islam, manusia sebagai khalifah di bumi memiliki tanggung jawab untuk menjaga dan tidak merusak lingkungan. Sebagaimana dijelaskan dalam Al-Qur'an:

..... وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا ﴿٥٦﴾

“Dan janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah (Allah) memperbaikinya.” (Q.S. Al-A'raf: 56)

Ayat tersebut menegaskan larangan untuk melakukan kerusakan terhadap lingkungan serta pentingnya menjaga keseimbangan alam. Dalam konteks penelitian ini, game *Trash Tycoon* dirancang sebagai media edukasi yang mendorong pemain untuk memahami pentingnya pengelolaan sampah secara bertanggung jawab. Pemain diajak untuk mengumpulkan, mengolah, dan mengelola sampah dengan baik, sehingga secara tidak langsung menanamkan nilai kepedulian terhadap lingkungan.

Selain itu, sistem adaptasi grafis yang dikembangkan juga mendukung efisiensi penggunaan sumber daya perangkat dengan menyesuaikan kualitas grafis sesuai kemampuan perangkat. Hal ini dapat mengurangi beban kerja sistem dan penggunaan energi secara berlebihan, sehingga secara tidak langsung berkontribusi terhadap prinsip efisiensi dan keberlanjutan.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berfokus pada aspek teknis pengembangan sistem, tetapi juga mengandung nilai edukatif yang sejalan dengan ajaran Islam dalam menjaga kelestarian lingkungan dan mencegah kerusakan di bumi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, sistem adaptasi otomatis kualitas grafis pada game edukasi *Trash Tycoon* menggunakan metode Fuzzy Mamdani berhasil diimplementasikan dengan memanfaatkan dua variabel input utama, yaitu CPU Time dan Frame Per Second (FPS). Kedua variabel tersebut diproses melalui tahapan fuzzifikasi, inferensi berbasis rule base, serta defuzzifikasi untuk menghasilkan output berupa tingkat kualitas grafis, yaitu Low, Medium, dan High.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menyesuaikan kualitas grafis secara adaptif berdasarkan kondisi performa perangkat. Perangkat dengan spesifikasi tinggi cenderung menghasilkan output High sehingga mampu menampilkan kualitas visual secara maksimal, sedangkan perangkat dengan spesifikasi rendah menghasilkan output Low agar permainan tetap dapat berjalan dengan lancar. Untuk kondisi performa menengah, sistem menghasilkan output Medium sebagai bentuk keseimbangan antara kualitas visual dan performa permainan. Setiap output yang dihasilkan terbukti mampu menjaga kestabilan FPS selama gameplay berlangsung, sehingga permainan tetap berada dalam kondisi yang dapat diterima dan nyaman untuk dimainkan.

Implementasi sistem adaptasi otomatis ini memberikan kemudahan bagi pengguna karena tidak memerlukan pengaturan grafis secara manual. Sistem secara otomatis menentukan kualitas grafis yang paling sesuai berdasarkan kondisi

perangkat, sehingga pengguna dapat langsung menikmati permainan tanpa harus memahami aspek teknis pengaturan grafis. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya meningkatkan performa permainan, tetapi juga meningkatkan pengalaman pengguna secara keseluruhan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya:

1. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan fitur input manual, di mana pengguna dapat memasukkan spesifikasi perangkat seperti kapasitas RAM atau jenis GPU, yang kemudian diolah dalam sistem fuzzy untuk meningkatkan fleksibilitas dan akurasi penyesuaian grafis.
2. Sistem adaptasi grafis dapat dikembangkan menjadi adaptasi secara real-time selama permainan berlangsung, sehingga kualitas grafis dapat menyesuaikan secara dinamis terhadap perubahan kondisi performa perangkat.
3. Pengembangan sistem dapat dilakukan dengan menambahkan lebih banyak level kualitas grafis, seperti Ultra Low atau Ultra High, agar penyesuaian grafis menjadi lebih fleksibel.
4. Penelitian selanjutnya dapat menguji sistem pada lebih banyak variasi perangkat dan platform, seperti perangkat mobile, untuk mengetahui performa sistem secara lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Atun, Y. A., Bagus Pambudi, B., & Maulana, B. A. (2024). Interactive Multimedia Development of Indonesian Endemic Plants: Species Uniqueness with MDLC Approach. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 5(7), 3203. <http://jist.publikasiindonesia.id/>
- Chebotareva, I. N., Pashutina, O. S., Liaskovets, A. v., & Makhova, V. v. (2020). Motivational and Educational Value of Game-Based Learning Technology in Law Students Training. *Proceedings of the International Scientific Conference on Philosophy of Education, Law and Science in the Era of Globalization (PELSEG 2020)*.
- Cheng, C. H., & Bai, Y. W. (2019). Dynamic performance adjustment of CPU and GPU in a gaming notebook at the battery mode. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E102D(7), 1257–1270. <https://doi.org/10.1587/transinf.2018EDP7241>
- Dorado, S. A., Manuel, -Rojas, Catalán, N., De, M., Fernandes, C., & Vanfretti, L. (2017). Performance Benchmark of Modelica Time-Domain Power System Automated Simulations using Python. *Proceedings Of The American Modelica Conference 2020*. <https://doi.org/10.3384/ECP20169>
- Fedotova, N., Protsenko, M., Baranova, I., Vashchenko, S., & Dehtiarenko, Y. (2023). Research On Calculation Optimization Methods Used In Computer Games Development. *Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Srodowiska*, 13(3), 37–42. <https://doi.org/10.35784/iapgos.3828>
- Fiandhika, M. F., & Kelana, B. (2024). System Usability Scale Validation from The Expert Perspective. *E3S Web of Conferences*, 483. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448303008>
- Gu, X., Han, J., Shen, Q., & Angelov, P. P. (2023). Autonomous learning for fuzzy systems: a review. *Artificial Intelligence Review*, 56(8), 7549–7595. <https://doi.org/10.1007/s10462-022-10355-6>
- Harahap, M., Pratama, A. R., Siregar, W., Hutagalung, D. A., & Sihombing, H. (2019). Monitoring patient health based on medical records using fuzzy logic method. *Journal Publications & Informatics Engineering Research*, 3(2). <https://doi.org/10.33395/sinkron.v3i1.10014>
- Jerman Blažič, B., & Jerman Blažič, A. (2019). Interactive Multimedia Touch Screen Tablets and Gaming as a Vehicle That Fosters Learning Digital Skills. In *Interactive Multimedia - Multimedia Production and Digital Storytelling*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.82724>

- Jindal, A. (2022). *Rendering for Hyper-Realistic Displays: A Benchmark Study*. <https://www.cl.cam.ac.uk/~aj577RafałMantiukhttps://www.cl.cam.ac.uk/~rkm38>
- Joddrell, P., & Astell, A. J. (2019). Implementing Accessibility Settings in Touchscreen Apps for People Living with Dementia. *Gerontology*, 65(5), 560–570. <https://doi.org/10.1159/000498885>
- Kim, M., Ki, S., Seo, Y., Park, J., & Jhon, C. (2015). Dynamic rendering quality scaling based on resolution changes. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E98D(12), 2353–2357. <https://doi.org/10.1587/transinf.2015EDL8130>
- Konnurmuth, G., & Chickerur, S. (2024). GPU Shader Analysis and Power Optimization Model. *Engineering, Technology and Applied Science Research*, 14(1), 12925–12930. <https://doi.org/10.48084/etasr.6695>
- Koulaxidis, G., & Xinogalos, S. (2022). Improving Mobile Game Performance with Basic Optimization Techniques in *Unity*. *Modelling*, 3(2), 201–223. <https://doi.org/10.3390/modelling3020014>
- Krisdiawan, R. A., Faza Rohmana, M., & Permana, A. (2020). Pembuatan Game Runaway From Culik Dengan Algoritma *Fuzzy mamdani*. *Buffer Informatika*, 6. <https://journal.uniku.ac.id/index.php/buffer>
- Kyriazos, T., & Poga, M. (2024). Exploring *Fuzzy Logic* as an Alternative Approach in Psychological Scoring. *The Open Psychology Journal*, 17(1). <https://doi.org/10.2174/0118743501337527241125044301>
- Laurence, J., & Kaburuan, E. R. (2021). Evaluation of User Experience on Digital Learning Platform Website Using System Usability Scale (Case Study: Pijar Mahir). In *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education 1595 Research Article* (Vol. 12, Issue 6).
- Lubis, A. J., Khair, U., Sembiring, A., Zulkarnain, A., & Siregar, D. (2019). Pool Water Acidity Gauge Using *Fuzzy mamdani* Method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1361(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1361/1/012083>
- Mulya, W., Maslina, M., & Marlina, M. (2020). Sosialisasi dan Penerapan Pemilahan Sampah Berdasarkan Karakteristik. *Abdimas Universal*, 2(2), 100–105. <https://doi.org/10.36277/abdimasuniversal.v2i2.78>
- M. Quraish, S. (2000). *Tafsir Al-Mishbah Jilid 01* (Vol. 1).
- M Sumual, S. D., Lumapow, H. R., A Tuerah, P. E., H Dondokambey, C. J., L Paat, W. R., & Manumpil, Y. B. (2024). Development of Multimedia-Based Learning Media for Multimedia Courses. In *International Journal of*

Information Technology and Education (IJITE) (Vol. 3, Issue 3).
<http://ijite.jredu.id><http://ijite.jredu.id>

Mordeson, J. N., Mathew, S., & Malik, D. S. (2018). Strengthening and weakening members of a network. In *Studies in Fuzziness and Soft Computing* (Vol. 365, pp. 1–55). Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76454-2_1

Nodira, S., & Qizi, S. (2023). Journal Of Digital Learning And Distance Education (JDLDE) Designing Educational Games and Their Benefits. *Journal of Digital Learning and Distance Education*, 11. <https://katerinaschenke.medium.com/how-to-make-an-educational-game-that-doesnt-suck-4->

Nursyachbaini, D. (2023). The Application of *Fuzzy Logic* With the Mamdani Method to Determine the Risk Zone for The Spread of Covid-19 in North Sumatra. *Jurnal Riset Rumpun Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam (JURRIMIPA)*, 2(1).

Okur, M., Kızıl, R., & Atamaz, E. (2024). The art of graphic design in video games: beyond the visual. *Revista Amazonia Investiga*, 13(78), 9–26. <https://doi.org/10.34069/ai/2024.78.06.1>

Paraschos, P. D., & Koulouriotis, D. E. (2025). *Fuzzy Logic-Based Dynamic Difficulty Adjustment for Adaptive Game Environments. Electronics (Switzerland)*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/electronics14010146>

Pertiwi, A., Danial, H., Maharani Asnur, S., & Abdullah, D. (2024). Increasing understanding of foreign language vocabulary through technology-based educational games. *International Journal of Language and Ubiquitous Learning*, 1(4). <https://doi.org/10.70177/ijlul.v1i4.698>

Piórkowski, R., Mantiuk, R., & Wernikowski, M. (2024). Learning to predict perceptual visibility of rendering deterioration in computer games. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-78254-0>

Pourjavad, E., & Shahin, A. (2018). Hybrid performance evaluation of sustainable service and manufacturing supply chain management: An integrated approach of *fuzzy dematel* and *fuzzy inference system*. *Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management*, 25(3), 134–147. <https://doi.org/10.1002/isaf.1431>

Ramadhan, N. (2025). *Penyesuaian Tingkat Kesulitan Pada Npc Musuh Dalam Game Puzzle-Action Menggunakan Metode Fuzzy Sugeno*.

Ramdani, F., Daryn Ramadhani Az Zahra, Herlambang Nurasyid Ramdhani, Mohamad Fikih Amar Dani, Fiqri Nurfadillah, Muhammad Danang Mukti

- Darmawan, & Nanda Octavia. (2025). Prediction of Water Quality in Ponds Based on Temperature, Water Clarity, pH, and Dissolved Oxygen Using Mamdani Fuzzy Logic. *Journal of Applied Science, Technology & Humanities*, 2(2), 149–161. <https://doi.org/10.62535/n729q614>
- Schoeberl, M. (2009). Time-predictable computer architecture. *Eurasip Journal on Embedded Systems*, 2009. <https://doi.org/10.1155/2009/758480>
- Sepulveda, G. K., Besoain, F., & Barriga, N. A. (2020, July 6). Exploring Dynamic Difficulty Adjustment in Videogames. *IEEE CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)*. <https://doi.org/10.1109/CHILECON47746.2019.8988068>
- Shi, X. (2025). Fuzzy Logic-based Input Evaluation Method for Interactive 2D Animation Scene Design using Computer Vision. *Informatica (Slovenia)*, 49(8), 141–160. <https://doi.org/10.31449/inf.v49i8.7023>
- Suria, O. (2024). A Statistical Analysis of System Usability Scale (SUS) Evaluations in Online Learning Platform. *Journal of Information Systems and Informatics*, 6(2), 992–1007. <https://doi.org/10.51519/journalisi.v6i2.750>
- Suryani, L., & Sukmawaty, S. (2024). Development of Luwu Culture Through Interactive Educational Games Based on Android Smartphones by Using Abode Animate CC. *AL-ISHLAH: Jurnal Pendidikan*, 15(4). <https://doi.org/10.35445/alishlah.v15i4.3533>
- Szafran, K., & Plechawska-Wojcik, M. (2023). Impact of changes in graphics setting on performance in selected video games. *Journal Computer Sciences Institute*.
- Tan, W., & Riwinoto, R. (2023, July 26). Analysis Optimization of Game “X” Performance on The Android Platform. *Proceedings of the 5th International Conference on Applied Engineering, ICAE*. <https://doi.org/10.4108/eai.5-10-2022.2326588>
- Tency, M. (2024). Applications of Fuzzy Logics in Modern Systems: A Simple Survey. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 5(5), 7598–7600. <https://doi.org/10.55248/gengpi.5.0524.1316>
- Volynets, V., Tolmach, M., & Novytskyi, B. (2023). Visual Effects in the Creation of Game-based Learning Content: Impact on Perception and Motivation in Learning. *Digital Platform: Information Technologies in Sociocultural Sphere*, 6(2), 261–273. <https://doi.org/10.31866/2617-796x.6.2.2023.293591>

- Wang, C., Xu, C., & Wu, P. (2023). Evaluation and Optimization of Rendering Techniques for Autonomous Driving Simulation. *ArXiv*. <http://arxiv.org/abs/2306.15176>
- Wu, H., & Xu, Z. S. (2021). Fuzzy Logic in Decision Support: Methods, Applications and Future Trends. *International Journal of Computers, Communications and Control*, 16(1), 1–28. <https://doi.org/10.15837/ijccc.2021.1.4044>
- Yulius, Y., Bishnoi, M. M., & Singh, A. (2021). Measuring Human Eye Tolerance towards the Digital Typography Sharpness on a High-Density Pixel Computer Screen: An Indicative Study. *Proceedings of 2nd IEEE International Conference on Computational Intelligence and Knowledge Economy, ICCIKE 2021*, 311–316. <https://doi.org/10.1109/ICCIKE51210.2021.9410670>
- Zhang, A., Chen, K., Johan, H., & Erdt, M. (2022). High-performance adaptive texture streaming and rendering of large 3D cities. *Visual Computer*, 38(4), 1245–1262. <https://doi.org/10.1007/s00371-021-02152-z>
- Zhang, Q. (2024). Advanced techniques and high-performance computing optimization for real-time rendering. *Applied and Computational Engineering*, 90(1), 14–19. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/90/2024melb0061>
- Zhao, Y., Gao, W. W., & Ku, S. S. (2023). Optimization of the game improvement and data analysis model for the early childhood education major via deep learning. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46060-9>