



Pengembangan Game Edukasi *Web EcoSort: City Savior* untuk Pemilahan Sampah Rumah Tangga

Vebby Ardita Manalu^{1*}, Benny Pinontoan², Christian A.J. Soewoeh³, Mahardika
Inra Takaendengan⁴

¹⁻⁴Sistem Informasi, Universitas Sam Ratulangi, Indonesia

*Penulis Korespondensi: vebbyardita@gmail.com

Abstract. Household waste management remains an environmental challenge due to limited public understanding regarding waste classification. This study aims to develop a web-based 2D educational game entitled *EcoSort: City Savior* and evaluate changes in users' knowledge after using the game. The system was developed using the Game Development Life Cycle (GDLC) method and implemented using Unity 2D with WebGL technology. Functional testing was conducted using Black-Box Testing with the Equivalence Partitioning technique. The evaluation applied a one-group pretest–posttest design involving 30 respondents aged 15–17 years. The results showed that the average pretest score increased from 41 to 88 in the posttest. Statistical analysis using the paired sample t-test produced a p-value of $4.39272E^{-13}$ ($p < 0.05$), indicating a significant difference between pretest and posttest scores. These findings indicate that *EcoSort: City Savior* has the potential to be used as an interactive learning medium for improving understanding of household waste classification.

Keywords: Educational Game; Game Development Life Cycle; Household Waste Sorting; Waste Management; WebGL.

Abstrak. Pengelolaan sampah rumah tangga masih menjadi tantangan lingkungan akibat rendahnya pemahaman masyarakat mengenai klasifikasi sampah. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan game edukasi 2D berbasis web berjudul *EcoSort: City Savior* serta mengevaluasi perubahan tingkat pengetahuan pengguna setelah menggunakan game tersebut. Pengembangan sistem menggunakan metode *Game Development Life Cycle* (GDLC) dan diimplementasikan menggunakan Unity 2D dengan teknologi WebGL. Pengujian fungsional dilakukan menggunakan metode Black-Box Testing dengan teknik Equivalence Partitioning. Evaluasi menggunakan desain *one-group pretest–posttest* terhadap 30 responden berusia 15–17 tahun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata pretest meningkat dari 41 menjadi 88 pada *post-test*. Analisis paired sample t-test menghasilkan p-value sebesar $4.39272E^{-13}$ ($p < 0,05$), yang menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara nilai pretest dan posttest. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *EcoSort: City Savior* berpotensi digunakan sebagai media pembelajaran interaktif untuk meningkatkan pemahaman mengenai klasifikasi sampah rumah tangga.

Kata kunci: Game Development Life Cycle; Game Edukasi; Pengelolaan Sampah; Pemilahan Sampah Rumah Tangga; WebGL.

1. LATAR BELAKANG

Pengelolaan sampah rumah tangga masih menjadi salah satu permasalahan lingkungan di Indonesia. Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional, sebagian besar sampah masih berakhir di tempat pembuangan akhir tanpa melalui proses pemilahan yang optimal (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2020). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pemahaman masyarakat mengenai klasifikasi sampah, seperti sampah organik, anorganik, residu, dan bahan berbahaya dan beracun (B3), masih perlu ditingkatkan sebagai bagian dari upaya pengelolaan sampah berkelanjutan yang sejalan dengan *Sustainable Development Goals* (United Nations, 2015).

Remaja usia 15–17 tahun berada pada tahap perkembangan middle adolescence yang ditandai dengan kemampuan berpikir logis dan memahami konsep klasifikasi secara lebih sistematis (Santrock, 2011). Pada tahap ini, individu mulai mampu memproses informasi secara terstruktur, tetapi tetap memerlukan pendekatan pembelajaran yang menarik dan interaktif agar proses pembelajaran berlangsung lebih efektif. Oleh karena itu, penggunaan media pembelajaran interaktif dinilai sesuai untuk membantu meningkatkan pemahaman mengenai klasifikasi sampah rumah tangga.

Salah satu pendekatan pembelajaran yang dapat diterapkan adalah *game-based learning* (GBL). Menurut Prensky, (2001), game digital mampu menciptakan lingkungan belajar interaktif melalui pengalaman langsung dan partisipasi aktif pengguna. Selain itu, Papastergiou, (2009) menyatakan bahwa game edukasi digital dapat meningkatkan efektivitas pembelajaran dibandingkan metode konvensional. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa elemen gamifikasi seperti poin, tantangan, dan umpan balik instan dapat mendukung peningkatan hasil belajar kognitif pengguna (Sailer & Homner, 2020). Dalam konteks pemilahan sampah, mekanisme permainan seperti *drag-and-drop* dapat membantu pengguna memahami proses klasifikasi sampah secara lebih praktis dan menarik.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan game edukasi mengenai pemilahan sampah menggunakan Unity dan metode *Game Development Life Cycle* (GDLC). Wahyudinata & Dirgantara, (2020) mengembangkan game pemilahan sampah berbasis Android menggunakan metode GDLC untuk membantu proses pembelajaran mengenai pengelolaan sampah. Selain itu, Kholil et al., (2020) mengembangkan game edukasi 2D berbasis Unity mengenai pemilahan sampah rumah tangga. Penelitian selanjutnya menunjukkan bahwa game edukasi dapat digunakan sebagai media pembelajaran pemilahan sampah yang interaktif dan mudah diakses oleh pengguna (Purnaningtyas et al., 2023),(Rahmawati & Novita, 2025). Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada pengembangan teknis sistem dan pengujian fungsional tanpa melakukan evaluasi kuantitatif terhadap peningkatan pengetahuan pengguna menggunakan desain *pretest–posttest*. Selain itu, pengembangan game edukasi berbasis web yang dapat diakses langsung melalui browser tanpa instalasi tambahan masih relatif terbatas.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan game edukasi 2D berbasis web berjudul *EcoSort: City Savior* untuk membantu pengguna memahami klasifikasi sampah rumah tangga melalui simulasi interaktif. Game dikembangkan

menggunakan metode *Game Development Life Cycle* (GDLC) dan diimplementasikan menggunakan Unity 2D dengan teknologi WebGL agar dapat diakses melalui browser. Penelitian ini juga melakukan evaluasi terhadap perubahan tingkat pengetahuan pengguna menggunakan desain one-group pretest–posttest dengan *analisis paired sample t-test* untuk mengetahui perbedaan tingkat pengetahuan sebelum dan sesudah menggunakan game.

2. KAJIAN TEORITIS

GAME-BASED LEARNING (GBL)

iGame-Based Learning (GBL) merupakan pendekatan pembelajaran yang mengintegrasikan elemen permainan ke dalam proses belajar untuk meningkatkan keterlibatan dan hasil belajar pengguna. Menurut Prensky, (2001) game digital mampu menciptakan lingkungan belajar interaktif yang memungkinkan pengguna belajar melalui pengalaman, umpan balik, dan partisipasi aktif dibandingkan pembelajaran pasif. Selain itu, Papastergiou, (2009) menyatakan bahwa game edukasi digital dapat meningkatkan efektivitas pembelajaran dan motivasi pengguna dibandingkan metode pembelajaran konvensional.

Penelitian yang dilakukan oleh Sailer & Homner, (2020) juga menunjukkan bahwa elemen gamifikasi seperti poin, tantangan, dan umpan balik instan memiliki pengaruh positif terhadap hasil belajar kognitif pengguna. Dalam konteks penelitian ini, pendekatan game-based learning diterapkan melalui mekanisme drag-and-drop sorting yang memungkinkan pengguna melakukan simulasi pemilahan sampah secara interaktif. Pendekatan gamifikasi juga diketahui mampu meningkatkan keterlibatan pengguna dalam aktivitas pemilahan sampah melalui pembelajaran interaktif dan pemberian umpan balik secara langsung (Venturi et al., 2025). Gamifikasi pada konteks keberlanjutan lingkungan dapat meningkatkan motivasi dan partisipasi pengguna dalam aktivitas ramah lingkungan (Hsu, 2025).

EDUKASI LINGKUNGAN DAN PEMILAHAN SAMPAH RUMAH TANGGA

Pengelolaan sampah rumah tangga merupakan bagian penting dalam upaya menjaga keberlanjutan lingkungan. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah menekankan pentingnya pengurangan dan pemilahan sampah sejak dari sumbernya (Republik Indonesia, 2008). Namun, berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional, sebagian besar sampah masih berakhir di tempat pembuangan akhir tanpa melalui proses pemilahan yang optimal

(Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2020). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pemahaman masyarakat mengenai klasifikasi sampah rumah tangga masih perlu ditingkatkan agar pengelolaan sampah dapat dilakukan secara lebih efektif dan berkelanjutan. Pendidikan lingkungan juga menjadi bagian penting dalam mendukung pembangunan berkelanjutan melalui peningkatan kesadaran dan pengetahuan masyarakat mengenai lingkungan (UNESCO, 2020).

Pemilahan sampah rumah tangga umumnya dibedakan menjadi beberapa kategori, yaitu sampah organik, anorganik, residu, dan bahan berbahaya dan beracun (B3). Pemahaman mengenai klasifikasi sampah menjadi penting karena berkaitan dengan proses pengolahan dan pengurangan dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh sampah rumah tangga. Klasifikasi sampah juga menjadi salah satu aspek penting dalam pengembangan sistem pengelolaan limbah berbasis teknologi modern (White et al., 2020). Selain itu, teknologi digital mulai banyak diterapkan untuk membantu proses klasifikasi dan pemilahan sampah secara lebih efektif (Bruno et al., 2023). Oleh karena itu, diperlukan media pembelajaran yang mampu membantu pengguna memahami proses klasifikasi sampah secara lebih mudah dan menarik. Dalam penelitian ini, game edukasi digunakan sebagai media pembelajaran interaktif yang memanfaatkan simulasi dan aktivitas langsung untuk membantu pengguna mengenali jenis-jenis sampah rumah tangga.

KARAKTERISTIK USIA 15–17 TAHUN

Menurut Santrock, (2011) individu berusia 15–17 tahun berada pada tahap *middle adolescence* yang ditandai dengan berkembangnya kemampuan berpikir logis dan memahami konsep abstrak. Pada tahap ini, individu mulai mampu memproses informasi secara lebih sistematis dan memahami konsep klasifikasi dengan lebih baik. Namun, penelitian yang dilakukan oleh Zsóka et al., (2013) menunjukkan bahwa tingkat pengetahuan lingkungan yang dimiliki individu tidak selalu diikuti dengan perilaku peduli lingkungan yang konsisten. Fenomena tersebut dikenal sebagai *knowledge–action gap*, yaitu kesenjangan antara tingkat pengetahuan dan tindakan nyata terhadap lingkungan. Gamifikasi pada aktivitas daur ulang juga diketahui mampu meningkatkan pengalaman pengguna dan keterlibatan dalam proses pemilahan sampah rumah tangga (Rosenlund et al., 2025). Media interaktif dan gamifikasi dapat membantu meningkatkan perilaku pemilahan sampah melalui keterlibatan aktif pengguna selama proses pembelajaran (Su et al., 2025). Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pengukuran

peningkatan pengetahuan pengguna mengenai klasifikasi sampah rumah tangga setelah menggunakan media pembelajaran berbasis game.

PENGUKURAN PENINGKATAN PENGETAHUAN

Pengukuran hasil belajar dalam penelitian media pembelajaran umumnya dilakukan menggunakan metode *pretest* dan *posttest*. *Pretest* digunakan untuk mengukur tingkat pengetahuan awal pengguna sebelum diberikan perlakuan, sedangkan *posttest* digunakan untuk mengukur tingkat pengetahuan setelah pengguna menggunakan media pembelajaran. Perbandingan antara nilai *pretest* dan *posttest* digunakan untuk mengetahui perubahan tingkat pengetahuan pengguna Launin et al., (2022). Dalam penelitian ini, pengukuran dilakukan menggunakan instrumen pilihan ganda mengenai klasifikasi sampah rumah tangga, kemudian hasilnya dianalisis menggunakan *paired sample t-test* untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan signifikan antara nilai sebelum dan sesudah penggunaan game edukasi.

GAME DEVELOPMENT LIFE CYCLE (GDLC)

Game Development Life Cycle (GDLC) merupakan metode pengembangan game yang dilakukan melalui tahapan terstruktur mulai dari perencanaan hingga distribusi sistem. Menurut Fauzy et al., (2023), GDLC terdiri dari lima tahapan utama, yaitu *initiation*, *pre-production*, *production*, *testing*, dan *release*. Metode ini digunakan untuk membantu proses pengembangan game agar lebih sistematis dan terorganisasi. Tahap *initiation* dilakukan untuk menentukan konsep dasar dan kebutuhan sistem, tahap *pre-production* meliputi perancangan *gameplay* dan antarmuka pengguna, tahap *production* merupakan proses implementasi sistem, tahap *testing* dilakukan untuk memastikan seluruh fitur berjalan sesuai kebutuhan, sedangkan tahap *release* dilakukan dengan mendistribusikan sistem kepada pengguna. Dalam penelitian ini, metode GDLC digunakan sebagai kerangka pengembangan game edukasi *EcoSort: City Savior*.

UNITY 2D DAN WEBGL

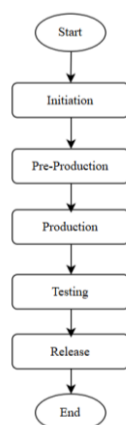
Unity merupakan game engine yang mendukung pengembangan game 2D maupun 3D dan menyediakan berbagai fitur untuk mendukung pengembangan *gameplay* interaktif, seperti *sprite*, *tilemap*, dan sistem fisika 2D (Unity Technologies, 2025). Pada penelitian ini, Unity 2D digunakan untuk mengembangkan *gameplay* berbasis *drag-and-drop sorting* dan diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman C#. Game kemudian diekspor menggunakan teknologi WebGL sehingga dapat dijalankan melalui browser tanpa memerlukan instalasi tambahan.

BLACK-BOX TESTING

Black-Box Testing merupakan metode pengujian perangkat lunak yang berfokus pada pengujian fungsi sistem berdasarkan *input* dan *output* tanpa memperhatikan struktur internal kode program. Menurut Glenford et al., (2011). Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi kesalahan fungsi, kesalahan antarmuka, serta ketidaksesuaian antara kebutuhan sistem dan hasil yang dihasilkan sistem.

Salah satu teknik dalam *Black-Box Testing* adalah *Equivalence Partitioning*, yaitu teknik yang membagi data input ke dalam beberapa kelas pengujian yang mewakili kondisi tertentu Amalia et al., (2021). Teknik ini digunakan agar proses pengujian dapat dilakukan secara lebih sistematis dan efisien. Dalam penelitian ini, metode *Black-Box Testing* digunakan untuk menguji fitur utama game, seperti mekanisme *drag-and-drop*, sistem skor, sistem penalti, dan timer permainan.

3. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Tahapan GDLC

Gambar 1 merupakan tahapan tahapan penelitian yang digunakan dalam Penelitian ini yaitu metode *Game Development Life Cycle* (GDLC) sebagai metode pengembangan sistem. Metode GDLC dipilih karena menyediakan tahapan pengembangan game yang terstruktur mulai dari perencanaan hingga distribusi sistem. Menurut Fauzy et al., (2023) GDLC terdiri dari lima tahapan utama, yaitu *initiation*, *pre-production*, *production*, *testing*, dan *release*.

Tahap *initiation* dilakukan untuk mengidentifikasi permasalahan dan menentukan konsep dasar game yang dikembangkan. Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah masih rendahnya pemahaman mengenai klasifikasi sampah rumah tangga. Pada tahap ini juga ditentukan tujuan pengembangan sistem, target pengguna berusia 15–17

tahun, serta platform pengembangan menggunakan Unity 2D dengan teknologi WebGL agar game dapat dijalankan melalui browser.

Tahap *pre-production* dilakukan dengan merancang konsep permainan, alur permainan, antarmuka pengguna, serta aset yang digunakan dalam game *EcoSort: City Savior*. *Gameplay* dirancang menggunakan mekanisme *drag-and-drop sorting*, yaitu pengguna memindahkan objek sampah ke tempat sampah yang sesuai dengan kategorinya. Sistem permainan juga dilengkapi dengan mekanisme skor, penalti, dan batas waktu pada setiap level permainan.

Tahap *production* merupakan proses implementasi sistem menggunakan Unity 2D dan bahasa pemrograman C#. Pada tahap ini dilakukan pembuatan scene permainan, implementasi mekanisme *drag-and-drop*, sistem skor, sistem penalti, timer permainan, serta integrasi aset visual dan antarmuka pengguna ke dalam sistem permainan. Game kemudian diekspor dalam format WebGL sehingga dapat diakses menggunakan browser tanpa memerlukan instalasi tambahan.

Tahap *testing* dilakukan menggunakan metode *Black-Box Testing* dengan teknik *Equivalence Partitioning*. Pengujian dilakukan pada fitur utama sistem, seperti mekanisme *drag-and-drop*, validasi klasifikasi sampah, sistem skor, sistem penalti, dan timer permainan. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh fitur pada game berjalan sesuai dengan kebutuhan sistem yang telah dirancang.

Tahap *release* merupakan tahap akhir pengembangan sistem, yaitu mendistribusikan game yang telah selesai dikembangkan dan diuji. Setelah tahap pengujian selesai dilakukan, game digunakan dalam proses evaluasi penelitian untuk mengukur perubahan tingkat pengetahuan pengguna mengenai klasifikasi sampah rumah tangga.

Evaluasi penelitian menggunakan desain *one-group pretest-posttest* terhadap 30 responden berusia 15–17 tahun yang dipilih menggunakan teknik *convenience sampling*. Instrumen penelitian berupa 10 soal pilihan ganda mengenai klasifikasi sampah rumah tangga yang terdiri dari sampah organik, anorganik, residu, dan B3 rumah tangga. Setiap jawaban benar diberikan skor 10, sedangkan jawaban salah diberikan skor 0. Data hasil *pretest* dan *posttest* dianalisis menggunakan *paired sample t-test* dengan tingkat signifikansi 0,05 untuk mengetahui perbedaan tingkat pengetahuan sebelum dan sesudah menggunakan game edukasi *EcoSort: City Savior*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

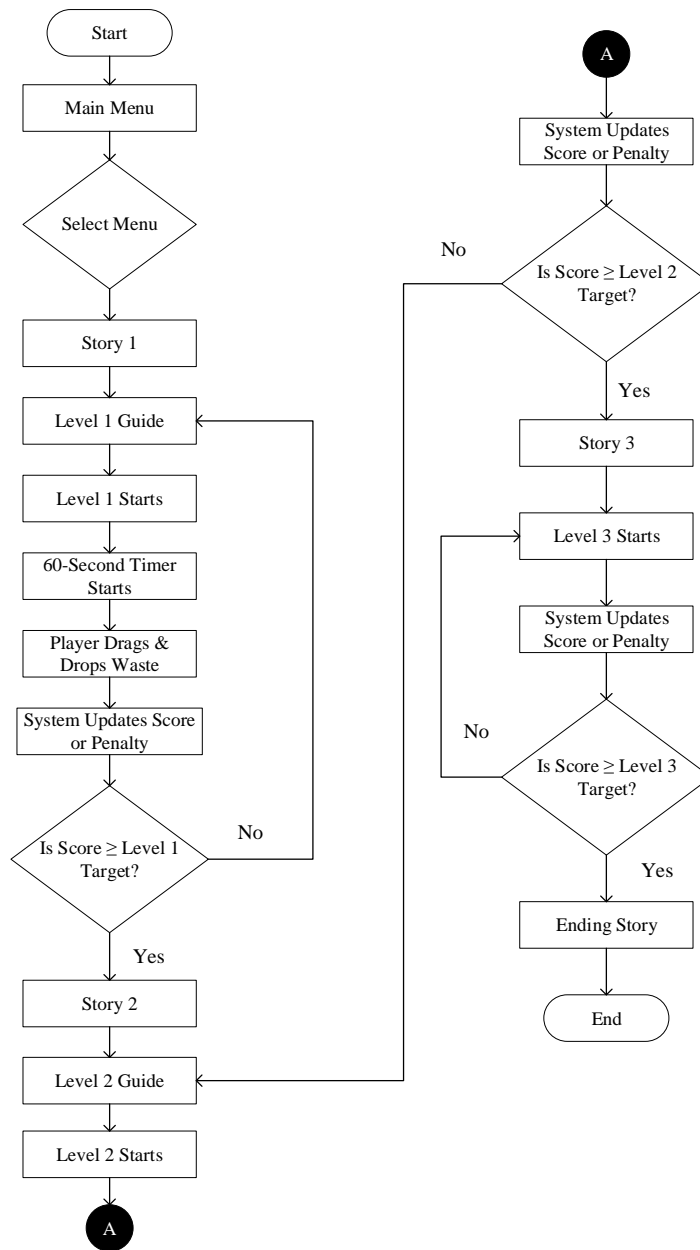
Initiation

Tahap *initiation* merupakan tahap awal dalam pengembangan game *EcoSort: City Savior*. Pada tahap ini dilakukan identifikasi permasalahan mengenai masih rendahnya pemahaman masyarakat terhadap klasifikasi sampah rumah tangga. Berdasarkan hasil identifikasi tersebut, dikembangkan sebuah game edukasi berbasis web yang bertujuan membantu pengguna memahami proses pemilahan sampah melalui simulasi interaktif. Game dirancang untuk pengguna berusia 15–17 tahun dengan mekanisme permainan berbasis drag-and-drop sorting. Selain itu, pada tahap ini juga ditentukan penggunaan Unity 2D sebagai game engine dan WebGL sebagai platform distribusi agar game dapat diakses melalui browser tanpa instalasi tambahan.

Pre-Production

Tahap pre-production dilakukan dengan merancang konsep permainan, alur permainan, antarmuka pengguna, dan aset yang digunakan dalam game *EcoSort: City Savior*. *Gameplay* dirancang menggunakan mekanisme *drag-and-drop sorting*, yaitu pengguna memindahkan objek sampah ke tempat sampah yang sesuai berdasarkan kategorinya, yaitu sampah organik, anorganik, residu, dan B3 rumah tangga. Sistem permainan juga dilengkapi dengan mekanisme skor, penalti, dan batas waktu untuk meningkatkan interaksi pengguna selama permainan berlangsung.

Alur permainan dirancang untuk menggambarkan proses permainan mulai dari *Main Menu* hingga *Ending Story*. Rancangan alur permainan tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alur Permainan

Gambar 2 menunjukkan alur permainan pada *EcoSort: City Savior* yang dimulai dari *Main Menu*, dilanjutkan ke *Story Scene*, gameplay pada setiap level, hingga *Ending Story*. Diagram tersebut juga memperlihatkan proses evaluasi skor pada setiap level untuk menentukan apakah pemain dapat melanjutkan ke level berikutnya atau harus mengulangi level sebelumnya.

Selain alur permainan, dilakukan pula perancangan antarmuka pengguna menggunakan *wireframe*. Salah satu tampilan utama yang dirancang adalah *gameplay level 1* yang ditunjukkan pada Gambar 3.

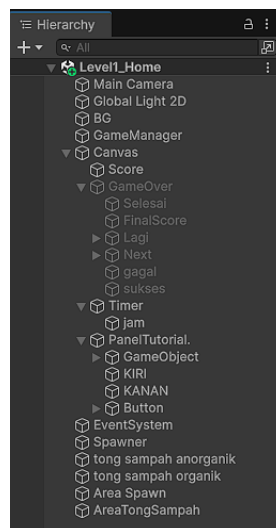


Gambar 3. *Gameplay Level 1 Wireframe*

Gambar 3 menunjukkan rancangan tampilan *gameplay level 1* yang terdiri dari area permainan, objek sampah, tempat sampah, skor, dan timer permainan. Tampilan ini dirancang untuk membantu pengguna memahami mekanisme dasar permainan sebelum melanjutkan ke level berikutnya.

Production

Tahap *production* merupakan proses implementasi sistem menggunakan Unity 2D dan bahasa pemrograman C#. Pada tahap ini dilakukan implementasi scene permainan sesuai rancangan yang telah dibuat pada tahap sebelumnya. Scene yang diimplementasikan terdiri dari *Main Menu*, *Story 1*, *Level 1*, *Story 2*, *Level 2*, *Story 3*, *Level 3*, dan *Ending Story*. Struktur implementasi *scene* pada Unity ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. *Hierarchy Scene Level 1*

Gambar 4 menunjukkan struktur *GameObject* pada scene level 1 di Unity. Struktur tersebut terdiri dari objek sampah, tempat sampah, elemen antarmuka pengguna, dan komponen *gameplay* lainnya yang mendukung proses permainan.

Implementasi Drag-and-Drop Gameplay

Mekanisme utama dalam game *EcoSort: City Savior* adalah proses pemilahan sampah menggunakan metode *drag-and-drop*. Pengguna memindahkan objek sampah ke tempat sampah yang sesuai dengan kategorinya. Ketika objek dijatuhkan pada area tempat sampah, sistem akan melakukan validasi untuk menentukan apakah klasifikasi yang dilakukan sudah benar atau belum. Implementasi gameplay tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Drag-and-Drop Gameplay

Gambar 5 menunjukkan proses pengguna memindahkan objek sampah ke tempat sampah yang sesuai menggunakan mekanisme *drag-and-drop*. Sistem memberikan umpan balik secara langsung melalui penambahan skor ketika klasifikasi dilakukan dengan benar.

Implementasi Sistem Skor dan Timer

Sistem skor digunakan untuk memberikan umpan balik kepada pengguna berdasarkan hasil klasifikasi sampah yang dilakukan selama permainan berlangsung. Pengguna memperoleh poin ketika berhasil melakukan klasifikasi dengan benar, sedangkan kesalahan klasifikasi akan menghasilkan penalti. Selain itu, setiap level permainan memiliki batas waktu tertentu untuk meningkatkan tantangan permainan. Implementasi tampilan skor dan timer ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Score dan Timer Display in Gameplay

Gambar 6 menunjukkan tampilan skor dan timer pada *gameplay*. Skor akan bertambah ketika pengguna berhasil melakukan klasifikasi sampah dengan benar, sedangkan timer digunakan untuk menghitung sisa waktu permainan pada setiap level.

Testing

Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode *Black-Box Testing* dengan teknik *Equivalence Partitioning*. Pengujian dilakukan terhadap fitur utama game, seperti mekanisme *drag-and-drop*, validasi kategori sampah, sistem skor, sistem penalti, dan timer permainan. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian *Black box* dengan Menggunakan Metode *Equivalence Partitioning*

Class	Test Scenario	Input Condition	Expected Result	Result
A (Valid Class)	Correct waste sorting	Waste object is placed in the appropriate trash bin	Score increases	Valid
B (Invalid Class)	Incorrect waste sorting	Waste object is placed in the wrong trash bin	Score decreases by 10 points	Valid
C (Outside Area Class)	Waste dropped outside bin	Waste object is released outside the trash bin area	Score remains unchanged and the object returns to its initial position	Valid
D (Time Expired Class)	Timer reaches 0	Game time reaches zero	The game stops and the result screen is displayed	Valid
E (Extreme Input Class)	Fast drag action	Player drags objects very quickly	The system continues to operate normally	Valid

Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian terhadap fitur utama pada game *EcoSort: City Savior*. Berdasarkan hasil pengujian, seluruh fitur utama sistem berjalan sesuai dengan kebutuhan yang telah dirancang dan tidak ditemukan kesalahan fungsi yang signifikan selama proses pengujian berlangsung.

Release

Tahap *release* dilakukan dengan mengekspor game menggunakan format WebGL sehingga game dapat dijalankan melalui browser tanpa memerlukan instalasi tambahan. Implementasi game dalam format WebGL ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 7. Game *EcoSort: City Savior* Berjalan Menggunakan WebGL

Gambar 6 menunjukkan implementasi game *EcoSort: City Savior* yang berhasil dijalankan menggunakan teknologi WebGL melalui browser. Penggunaan WebGL memungkinkan game diakses dengan lebih mudah pada berbagai perangkat yang mendukung browser modern.

Evaluation

Evaluasi dilakukan menggunakan desain *one-group pretest–posttest* terhadap 30 responden berusia 15–17 tahun. Sebelum menggunakan game, responden diberikan *pretest* untuk mengukur tingkat pengetahuan awal mengenai klasifikasi sampah rumah tangga. Setelah bermain *EcoSort: City Savior*, responden diberikan *posttest* untuk mengukur tingkat pengetahuan setelah menggunakan game. Hasil evaluasi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil *Pretest* dan *Posttest*

Respondents	Score Pre-Test	Score Post-test
R1	60	90
R2	40	80
R3	50	100
R4	60	80
R5	40	90
R6	50	100
R7	30	90
R8	40	80
R9	30	80
R10	30	90
R11	30	60
R12	40	90
R13	20	100
R14	60	90
R15	10	100
R16	50	80
R17	60	80
R18	60	80
R19	20	100
R20	20	90
R21	40	80
R22	40	100
R23	10	100
R24	60	90
R25	70	100
R26	30	70
R27	40	90
R28	60	80
R29	20	100
R30	50	90
Mean	41	88
p-value		$4.39272E^{-13}$

Tabel 2 menunjukkan hasil nilai *pretest* dan *posttest* responden setelah menggunakan game *EcoSort: City Savior*. Berdasarkan hasil evaluasi, nilai rata-rata *pretest* sebesar 41 meningkat menjadi 88 pada *posttest*.

Analisis statistik menggunakan *paired sample t-test* menghasilkan *p-value* sebesar $4.39272E^{-13}$ ($p < 0,05$), yang menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara nilai sebelum dan sesudah menggunakan game. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan game *EcoSort: City Savior* berpotensi membantu meningkatkan pemahaman pengguna mengenai klasifikasi sampah rumah tangga. Hasil penelitian ini juga sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa pendekatan *game-based learning* dapat meningkatkan keterlibatan pengguna dan mendukung proses pembelajaran melalui interaksi langsung dan umpan balik instan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan game edukasi 2D berbasis web *EcoSort: City Savior* menggunakan metode *Game Development Life Cycle* (GDLC) yang terdiri dari tahap *initiation*, *pre-production*, *production*, *testing*, dan *release*. Game diimplementasikan menggunakan Unity 2D dan teknologi WebGL sehingga dapat diakses melalui browser tanpa memerlukan instalasi tambahan. Hasil pengujian menggunakan metode *Black-Box Testing* menunjukkan bahwa seluruh fitur utama sistem berjalan sesuai dengan kebutuhan yang telah dirancang. Selain itu, hasil evaluasi menggunakan desain *one-group pretest–posttest* menunjukkan adanya peningkatan tingkat pengetahuan responden mengenai klasifikasi sampah rumah tangga setelah menggunakan game. Nilai rata-rata pretest sebesar 41 meningkat menjadi 88 pada *posttest*, sedangkan hasil analisis *paired sample t-test* menghasilkan *p-value* sebesar $4.39272E-13$ ($p < 0,05$), yang menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara nilai sebelum dan sesudah penggunaan game. Berdasarkan hasil tersebut, game *EcoSort: City Savior* berpotensi digunakan sebagai media pembelajaran interaktif untuk membantu meningkatkan pemahaman pengguna mengenai klasifikasi sampah rumah tangga.

Penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena hanya melibatkan 30 responden berusia 15–17 tahun dan berfokus pada pengukuran perubahan pengetahuan jangka pendek tanpa mengevaluasi perubahan perilaku pengguna dalam jangka panjang. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melibatkan jumlah responden yang lebih besar, menambahkan variasi gameplay dan fitur interaktif lainnya, serta melakukan evaluasi terhadap perubahan perilaku pengguna terkait pengelolaan sampah dalam jangka panjang agar hasil penelitian dapat memberikan gambaran yang lebih luas mengenai efektivitas penggunaan game edukasi dalam mendukung pembelajaran lingkungan.

DAFTAR REFERENSI

- Amalia, A., Putri Hamidah, S. W., & Kristanto, T. (2021). Pengujian Black Box Menggunakan Teknik Equivalence Partitions Pada Aplikasi E-Learning Berbasis Web. *Building of Informatics, Technology and Science (BITS)*, 3(3), 269–274. doi:10.47065/bits.v3i3.1062
- Bruno, A., Caudai, C., Leone, G. R., Martinelli, M., Moroni, D., & Crotti, F. (2023). Medical Waste Sorting: a computer vision approach for assisted primary sorting. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/2303.04720>

- Fauzy, S., Asriyanik, & Azzahra, F. (2023). Implementasi Game Development Life Cycle dalam Pembuatan Game Buana Ruh. *INDEXIA: Informatic and Computational Intelligent Journal*, 5(1), 19–34. doi:<https://doi.org/10.30587/indexia.v5i01.5215>
- Glenford, M., Corey, S., & Tom, B. (2011). *The Art of Software Testing* (3rd ed.). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Hsu, C. L. (2025). Environmental sustainability gamification: Conceptualization and scale development. *Technological Forecasting and Social Change*, 212. doi:10.1016/j.techfore.2025.123978
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2020). SIPSN – Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional.
- Kholil, M., Rafika Akhsani, & Kristinanti Charisma. (2020). Pengembangan Game Edukasi Pilah Sampah berbasis Android 2 Dimensi. *JAMI: Jurnal Ahli Muda Indonesia*, 1(1), 13–24. doi:10.46510/jami.v1i1.9
- Launin, S., Nugroho, W., & Setiawan, A. (2022). Pengaruh Media Game Online Wordwall Untuk Meningkatkan Minat Belajar Siswa Kelas IV. *JUPEIS: Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Sosial*, 1(3), 216–223. Retrieved from <https://jurnal.jomparnd.com/index.php/jp>
- Papastergiou, M. (2009). Digital Game-Based Learning in high school Computer Science education: Impact on educational effectiveness and student motivation. *Computers and Education*, 52(1), 1–12. doi:10.1016/j.compedu.2008.06.004
- Prensky, M. (2001). Digital Natives, Digital Immigrants. *MCB University Press*, 9(5).
- Purnaningtyas, A., Harsono, Fuadi, D., & Muhibbin, A. (2023). The Waste Sorting Education Media: An Innovation with Android-based Game. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pendidikan*, 7(3), 381–389. doi:10.23887/jppp.v7i3.67226
- Rahmawati, K., & Novita, R. (2025). Perancangan Game Edukasi 2D dengan Unity untuk Anak Sekolah Dasar. *Journal Of Artificial And Information Technology (JAITEC)*, 01(01), 26–33. Retrieved from <https://doi.org/26>
- Republik Indonesia. Undang-undang (UU) No. 18 Tahun 2008, Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2008 Nomor 69 § (2008). Retrieved from <https://peraturan.bpk.go.id/Details/39067/uu-no-18-tahun-2008>
- Rosenlund, J., Helmfalk, M., Stenfelt, S., & Palmquist, A. (2025). Levelling up the Recycling Experience: Gamification of Recycling through an Innovative Recycling Station. *Circular Economy and Sustainability*, 5(3), 1983–2007. doi:10.1007/s43615-025-00510-w
- Sailer, M., & Homner, L. (2020). The Gamification of Learning: a Meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 32(1), 77–112. doi:10.1007/s10648-019-09498-w
- Santrock, J. (2011). *Life-Span Development* (13th Edition). New York: McGraw-Hill.
- Su, Y., Thienmongkol, R., & Nimnoi, R. (2025). *Gamification and Interactive Media for University Waste Sorting: A Digital-Enabled Approach* (pp. 1344–1348). Association for Computing Machinery (ACM). doi:10.1145/3785706.3785919
- UNESCO. (2020). *Education for sustainable development: a roadmap*. UNESCO. doi:10.54675/YFRE1448

- United Nations. (2015). *Transforming Our World: The 2030 Agenda For Sustainable Development*. Retrieved from <https://www.refworld.org/legal/resolution/unga/2015/en/111816>
- Unity Technologies. (2025). 2D game development.
- Venturi, S., Zulauf, K., Cuel, R., & Wagner, R. (2025). Trash to treasure: Gamification and informed recycling behavior. *Resources, Conservation and Recycling*, 215. doi:10.1016/j.resconrec.2024.108108
- Wahyudinata, A., & Dirgantara, H. B. (2020). Pengembangan Gim Edukasi 2D Pemilahan Sampah Daur Ulang Berbasis Android. *MATRIK : Jurnal Manajemen, Teknik Informatika Dan Rekayasa Komputer*, 20(1), 129–138. doi:10.30812/matrik.v20i1.860
- White, G., Cabrera, C., Palade, A., Li, F., & Clarke, S. (2020). WasteNet: Waste Classification at the Edge for Smart Bins. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/2006.05873>
- Zsóka, Á., Szerényi, Z. M., Széchy, A., & Kocsis, T. (2013). *Greening due to environmental education? Environmental knowledge, attitudes, consumer behavior and everyday pro-environmental activities of Hungarian high school and university students*. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 48, pp. 126–138). Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.jclepro.2012.11.030