

PENGEMBANGAN GAME EDUKASI UNTUK PENGENALAN SAMPAH ORGANIK, ANORGANIK, DAN B3 DENGAN METODE GAME DEVELOPMENT LIFE CYCLE (GDLC)

Muhamad Dafa Satria Sidik, Asep Budiman Kusdinar, Asriyanik

Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Kota Sukabumi

I. R. Syamsudin, S.H. No. 50, Cikole, Kec. Cikole, Kota Sukabumi, Jawa Barat 43113

dafasatria379@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah Game edukatif yang berfungsi sebagai alat pembelajaran untuk membantu anak-anak dalam mengidentifikasi jenis-jenis sampah, yaitu sampah organik, anorganik, dan B3 (berbahaya dan beracun). Latar belakang dari penelitian ini adalah rendahnya kesadaran masyarakat, khususnya anak-anak, mengenai pentingnya pengelolaan sampah yang benar dan dampaknya terhadap lingkungan. Kurangnya pemahaman tentang klasifikasi sampah sering kali mengakibatkan perilaku pembuangan sampah yang salah, yang dapat berdampak negatif pada lingkungan dan kesehatan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang menarik dan interaktif untuk meningkatkan kesadaran dan pengetahuan sejak dini. Proses pengembangan Game ini menggunakan metode Game Development Life Cycle (GDLC) yang mencakup tahapan analisis kebutuhan, desain, pengembangan, implementasi, serta pengujian dan evaluasi. Game ini dirancang sebagai platform yang interaktif dan menyenangkan, sehingga dapat menarik minat anak-anak dalam belajar mengenali jenis-jenis sampah. Dalam permainan ini, pemain akan diajak untuk mengidentifikasi, mengklasifikasikan, dan memahami dampak dari setiap jenis sampah yang mereka temui. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Game ini mampu meningkatkan pemahaman anak-anak tentang klasifikasi sampah dan dampaknya terhadap lingkungan. Berdasarkan evaluasi yang dilakukan terhadap pengguna, terjadi peningkatan yang signifikan dalam kemampuan mereka untuk membedakan antara sampah organik, anorganik, dan B3 setelah bermain. Selain itu, game ini juga dinilai efektif dalam meningkatkan motivasi belajar dan kesadaran lingkungan. Dengan demikian, game ini berpotensi menjadi alat pembelajaran yang efektif dalam mendukung pengelolaan sampah yang lebih berkelanjutan dan memberikan kontribusi positif terhadap pendidikan lingkungan.

Kata kunci : *Game, GDLC (Game Development Cycle), Sampah Anorganik, Sampah B3 (Berbahaya dan Beracun), Sampah Organik*

1. PENDAHULUAN

Sampah merupakan material yang tidak digunakan lagi dan berasal dari berbagai sumber seperti rumah tangga, industri, dan pertanian. Secara umum, sampah dibedakan menjadi tiga jenis: organik, anorganik, dan B3 (berbahaya dan beracun). Kurangnya pengetahuan masyarakat, terutama anak-anak, mengenai klasifikasi sampah menjadi salah satu hambatan dalam pengelolaan sampah yang efektif di Indonesia.

Pendidikan tentang pengelolaan sampah perlu diperkenalkan sejak dini. Namun, metode pembelajaran tradisional sering kali kurang menarik bagi anak-anak. Oleh karena itu, diperlukan media pembelajaran yang lebih interaktif dan menarik, seperti game berbasis pembelajaran (Game-Based Learning atau GBL).

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah game yang mengenalkan jenis-jenis sampah kepada anak-anak dengan cara yang menyenangkan dan interaktif. Game ini dikembangkan menggunakan metode Game Development Life Cycle (GDLC), yang mencakup tahapan inisialisasi, pra-produksi, produksi, pengujian, beta, dan rilis. Hasil penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan pengetahuan anak-anak tentang pengelolaan sampah dan memotivasi

mereka untuk menerapkan pengetahuan tersebut dalam kehidupan sehari-hari..

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Jenis-Jenis Sampah

Pemilahan sampah adalah proses pengelolaan yang dimulai dari sumbernya untuk memudahkan pembuangan dan daur ulang. Sampah dibagi menjadi: Sampah organik berasal dari makhluk hidup seperti manusia, hewan, dan tumbuhan. Sampah anorganik berasal dari makhluk hidup dan meliputi bahan yang sulit diperbarui atau berbahaya, seperti plastik dan logam. Sampah B3 berbahaya dan beracun, sering mengandung merkuri, seperti kaleng cat dan detergen [1]

2.2. Game

Game adalah media hiburan elektronik yang dirancang untuk menarik minat pemain demi kepuasan, dan juga diakui sebagai salah satu alat pembelajaran [2]

2.3. Game Engine

Pengertian *game engine* telah berkembang dari sekadar kumpulan mesin untuk grafika, fisika, jaringan, AI, dan skrip, menjadi lingkungan pengembangan terpadu (IDE) yang memungkinkan

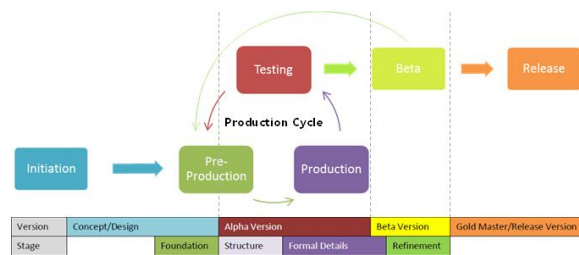
pembuatan visualisasi *real-time* dan *rendering* 3D. Pada dasarnya, *game engine* mencakup sisi rendering untuk membuat objek digital 3D atau 2D (dengan tekstur, material, dan pencahayaan) serta sisi pengembangan perangkat lunak untuk mengompilasi dan menjalankan kode di perangkat tertentu [3]

2.4. Unity Engine

Unity adalah aplikasi pengembangan yang menekankan pengelolaan aset lebih dari penulisan kode, dengan fokus pada penempatan aset dalam ruang 3D atau 2D. Sebagai *game engine* lintas platform, Unity mendukung pengembangan game untuk berbagai perangkat seperti komputer, ponsel, dan konsol. Unity dipilih karena kemudahan penggunaan, cocok untuk game 2D sederhana, ramah pemula, dan didukung oleh komunitas yang besar, yang memudahkan dalam mendapatkan bantuan dan umpan balik [4]

2.5. Game Development Life Cycle (GDLC)

Game Development Life Cycle (GDLC) adalah metode pengembangan game yang mirip dengan Software Development Life Cycle. Proses ini dimulai dari pengembangan ide dan konsep hingga peluncuran game, dengan menggunakan pendekatan iteratif yang terdiri dari enam fase: Inisiasi, Pra-Produksi, Produksi, Pengujian, Beta, dan Rilis [5]



Gambar 1. Alur metode GDLC

2.6. Story Board

Story board adalah cara untuk memvisualisasikan skenario melalui serangkaian sketsa yang menggambarkan adegan, karakter, dan penempatan objek dalam game. *Story board* sering digunakan dalam pembuatan film, kartun, dan iklan. Dalam konteks game, *story board* ini disebut sebagai *story board* interaktif, yang mencakup gambar-gambar visualisasi adegan, posisi karakter, nama, dan dialog mereka [6]

2.7. Flowchart

Story board adalah cara untuk memvisualisasikan skenario melalui serangkaian sketsa yang menggambarkan adegan, karakter, dan penempatan objek dalam game. *Story board* sering digunakan dalam pembuatan film, kartun, dan iklan. Dalam konteks game, *story board* ini disebut sebagai *story board* interaktif, yang mencakup gambar-gambar visualisasi adegan, posisi karakter, nama, dan dialog mereka [7]

2.8. Platformer

Game platformer adalah jenis permainan di mana pemain menggerakkan karakter melewati berbagai rintangan, melompati lantai, jurang, dan objek lainnya. Permainan ini bisa terjadi di satu layar atau dalam layar yang bergerak dari kanan ke kiri [8]. Contoh terkenal dari *game platformer* adalah Super Mario Bros, di mana pemain mengontrol karakter bernama Mario dengan tujuan mencapai garis finish untuk menyelamatkan sang putri. Sepanjang perjalanan, Mario harus mengatasi berbagai rintangan dan menghadapi musuh dengan pola serangan yang berbeda.

2.9. Aseprite

Aseprite adalah perangkat lunak yang digunakan untuk membuat seni piksel, yang nantinya digunakan sebagai aset dalam permainan [9]. Dengan berbagai fitur yang mendukung animasi *frame-by-frame*, Aseprite memungkinkan pengguna untuk merancang karakter, latar belakang, dan elemen visual lainnya dengan detail tinggi dalam format piksel. Selain itu, perangkat lunak ini juga mendukung berbagai format file, seperti PNG dan GIF, memudahkan integrasi aset ke dalam berbagai engine game. Fleksibilitas dan antarmuka yang ramah pengguna membuat Aseprite populer di kalangan pengembang game indie dan seniman digital.

2.10. Activity Diagram

Diagram Aktivitas UML menggambarkan perilaku dinamis dari perangkat lunak. Dalam proses perancangannya, diperlukan diagram urutan sebagai input, sementara diagram urutan itu sendiri membutuhkan diagram use case dan skenario sebagai input [10]

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini bertujuan memberikan gambaran rinci tentang rencana pelaksanaan penelitian, termasuk proses pengumpulan data dari instansi terkait dan kebutuhan untuk menyelesaikan penelitian. Jadwal kegiatan akan dijelaskan secara terperinci, mencakup langkah-langkah yang perlu diambil untuk memastikan penelitian berjalan lancar dan berhasil. Setiap tahap penelitian dirancang untuk menetapkan tujuan yang jelas.

Metode Game Development Life Cycle (GDLC) digunakan sebagai panduan dalam pengembangan game. GDLC mencakup fase-fase untuk memastikan game memenuhi persyaratan, serta menentukan apakah ada penyesuaian yang diperlukan sebelum game siap diluncurkan.

3.1. Initiation

Tahap pertama ini adalah pembuatan konsep dasar sebagai fondasi awal pengembangan game. Konsep game ini adalah *platformer* 2D, di mana pemain harus menyelesaikan beberapa stage dengan

mengatasi berbagai rintangan untuk maju ke tahap berikutnya.

3.2. Pre-Production

Tahap ini berfokus pada perancangan desain game, di mana pemain harus melewati level dengan menghadapi musuh berupa sampah organik, anorganik, dan B3, yang masing-masing dihadapi dengan cara berbeda. Game juga menyertakan edukasi singkat tentang klasifikasi sampah. Selain itu, flowchart dan storyboard dibuat untuk memetakan alur pengembangan game.

3.3. Production

Tahap ini mencakup pembuatan dan pencarian aset-aset game, seperti aset pemain, musuh sampah, rintangan, efek suara, dan desain level. Pengembangan game dilakukan menggunakan bahasa C# pada Unity Engine, dengan penerapan hasil analisis dari flowchart dan storyboard.

3.4. Testing

Tahap ini melibatkan pengujian game untuk memastikan bahwa game berjalan sesuai dengan kriteria yang diinginkan dan sistem berfungsi dengan baik dari awal hingga akhir. Metode pengujian yang digunakan adalah Black Box testing.

3.5. Release

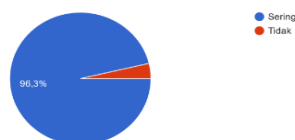
Tahap ini mirip dengan tahap testing, namun lebih lanjut. Pada tahap beta, game akan diuji oleh pemain eksternal yang bebas memainkannya. Tujuannya adalah untuk mendeteksi bug atau kendala serta mengumpulkan masukan dari pemain untuk meningkatkan kualitas game.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Initiation

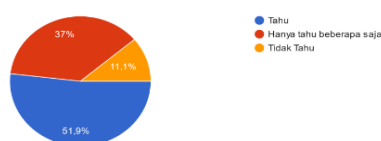
Pada tahap awal, dilakukan persiapan termasuk pemilihan *hardware* dan *software* untuk pengembangan serta pengujian game. Selain itu, survei menggunakan *Google Form* dilakukan untuk memahami preferensi game yang disukai anak-anak dan pengetahuan mereka tentang klasifikasi sampah.

Apakah anda sering memainkan game?
27 jawaban



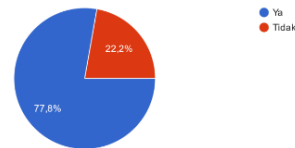
Gambar 2. Kusioner 1

Apakah anda mengetahui tentang klasifikasi sampah (Organik, Anorganik dan B3)?
27 jawaban



Gambar 3. Kusioner 2

Jika ada sebuah game platformer tentang klasifikasi sampah apakah anda akan coba memainkannya?
27 jawaban



Gambar 4. Kusioner 3

4.2. Spesifikasi hardware dan software

Perangkat keras dan perangkat lunak yang akan digunakan untuk pengujian adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi Hardware

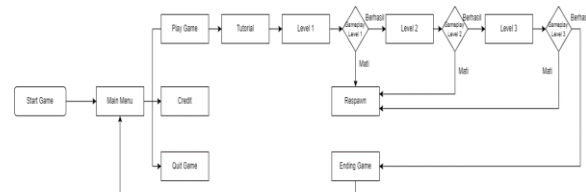
No	Hardware	Spesifikasi
1	Laptop	Dell Inc
2	Processor	Intel(R) i5
3	RAM	8 GB
4	Storage	400 Gigabyte SSD

Tabel 2. Spesifikasi Software

No	Elemen	Keterangan
1	Judul Game	Recycling Ranger
2	Perangkat	Personal Computer (Windows).
3	Sprite	Aseprite
4	Bahasa Pemrograman	C#
5	Game Engine	Unity Engine
6	Target Pemain	1 - 14 Tahun

4.3. Pre-Production

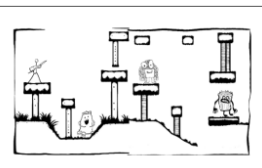
Pada tahap pra-produksi, langkah awal perancangan dan pengembangan game melibatkan penyusunan gambaran umum sistem game. Ini mencakup elemen seperti jenis game, cerita, storyboard, flowchart, gameplay, dan tantangan yang akan dihadapi pemain. Proses ini bertujuan untuk memperkenalkan sampah organik, anorganik, dan B3. Dalam game ini, pemain harus melewati berbagai rintangan, termasuk musuh yang mewakili sampah organik, anorganik, dan B3, serta platform yang memperumit perjalanan di setiap level. Game ini berformat 2D side-scrolling.



Gambar 5. Flowchart Game

Berikut merupakan Story Board untuk menggambarkan secara sederhana bagaimana tampilan-tampilan Game:

Tabel 3. *Story board*

Scene	Deskripsi Scene	Tombol Navigasi
	Menu Utama Menu yang diakses saat awal permainan dimulai terdiri dari 4 tombol yaitu memulai <i>Game</i> , pengaturan, kredit dan keluar	Mainkan memindahkan pemain keladad <i>Game</i> di level pertama Kredit Memindahkan halaman ke bagian kredit Keluar Memindahkan pemain keluar <i>Game</i>
	Halaman Kredit Halaman credit dalam <i>Game</i> adalah bagian yang menampilkan penghargaan dan pengakuan kepada individu dan tim yang berkontribusi dalam pembuatan <i>Game</i>	Kembali Mengarahkan pemain ke menu utama
	Gameplay Screen Halaman saat mulai memainkan <i>Game</i>	
	Pause Screen <i>Pop up box</i> yang muncul ketika pemain ingin berhenti sejenak ketika memainkan permainan	Lanjutkan Tombol untuk melanjutkan <i>Game</i> Sound Tombol untuk mengatur audio dalam <i>Game</i> Keluar Game Tombol untuk keluar dari <i>Game</i>
	Ending Screen Halaman yang nantinya akan muncul saat pemain menyelesaikan permainan	Tombol Skip Untuk melewati secara langsung ending screen

4.4. Production

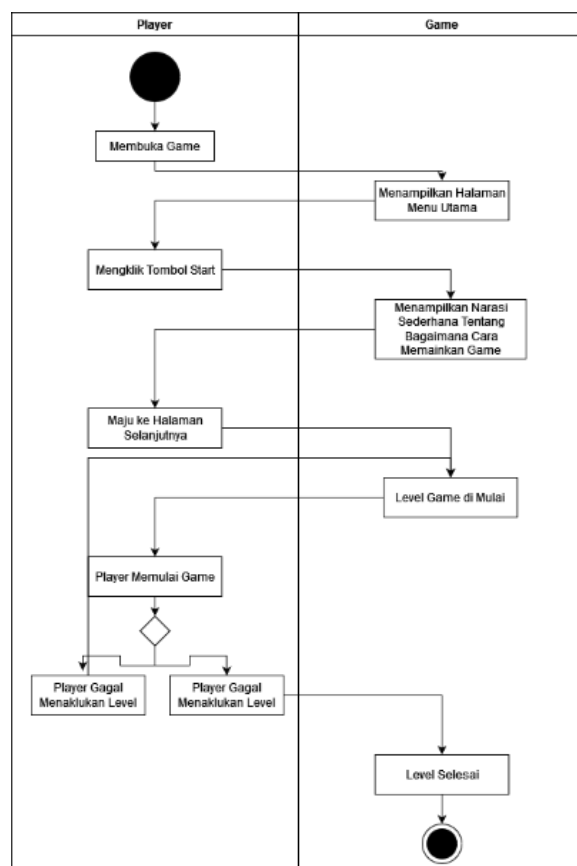
Tahap ini dimulai dengan pembuatan aset game, termasuk karakter utama, musuh, *background*, dan musik. Aset gambar dan animasi dibuat menggunakan

Aseprite, sementara pengembangan game dilakukan dengan *Unity Engine* menggunakan bahasa C#.

Tabel 4. Aset-aset *game*

Tabel 7.1301 aset game			
No	Nama Assets	Gambar	Keterangan
1	Ranger		Digunakan sebagai <i>player</i> karakter
2	Monster Roti Berjamur		Digunakan sebagai musuh <i>player</i> , sebagai musuh sampah organik
3	Monster Tumbuhan Penembak		Digunakan sebagai musuh <i>player</i> sebagai musuh sampah organik
4	Monster Ayam Goreng Terbang		Digunakan sebagai musuh <i>player</i> sebagai musuh sampah organik

No	Nama Assets	Gambar	Keterangan
5	Monster Botol Netes		Digunakan sebagai musuh <i>player</i> musuh sampah anorganik
6	Monster Sampah Plastik Lompat		Digunakan sebagai musuh <i>player</i> musuh sampah anorganik
7	Monster Kardus Ngegas		Digunakan sebagai musuh <i>player</i> musuh sampah anorganik
8	Monster Slime Limbah Ngesot		Digunakan sebagai musuh <i>player</i> musuh sampah B3
9	Jebakan Baterai Nyetrum		Digunakan sebagai musuh <i>player</i> musuh sampah anorganik
10	Jebakan Obat Kadarluasrsa		Digunakan sebagai musuh <i>player</i> musuh sampah anorganik



Gambar 6. Activity Diagram

4.5. Gameplay

Tahap ini dimulai dengan pembuatan aset game, termasuk karakter utama, musuh, *background*, dan musik. Aset gambar dan animasi dibuat menggunakan Aseprite, sementara pengembangan game dilakukan dengan Unity Engine menggunakan bahasa C#.

- Main menu* menampilkan halaman utama dengan tombol bermain, kredit, dan keluar saat game diakses.
- Halaman kredit menampilkan daftar kontributor game dan tombol kembali ke menu utama
- Player Movement* adalah input untuk bergerak ke kanan, kiri, dan melompat.
- Player Attack* menembakkan proyektil untuk mengalahkan monster sampah anorganik.
- Player health* adalah batas kerusakan yang bisa diterima pemain, yaitu 3 kali terkena serangan monster.
- Player stomp* adalah saat pemain menginjak atau melompati monster, sehingga monster jenis sampah organik akan menghilang
- Di halaman *ending* player akan disuguhkan video singkat tentang jenis-jenis sampah sebelum permainan berakhir tetapi player juga bisa skip bagian ini.

4.6. Testing

Pada tahap *testing*, *gameplay* diuji oleh 6 orang yang dipilih peneliti, yang kemudian diberikan

beberapa pertanyaan setelah memainkan *game*. Mereka akan menguji *scene* dan aset dalam *game*.

Tabel 5. Hasil *testing*

No	Scene	Input	Output yang diharapkan	Hasil
1	Main menu	Tidak ada	Menampilkan <i>button play, setting, credit</i> , dan <i>quit</i>	Berhasil
		Menekan tombol bermain	Pindah ke <i>scene level 1</i>	Berhasil
		Menekan tombol kredit	Pindah ke <i>scene kredit</i>	Berhasil
		Menekan tombol keluar	Keluar dari <i>Game</i>	Berhasil
2	Kredit	Tidak ada	Menampilkan list pengembang <i>Game</i> dan tombol kembali	Berhasil
		Menekan tombol kembali	Pindah ke halaman main menu	Berhasil
3	Player karakter	Menekan <i>key A</i> , dan <i>D</i>	Player karakter akan bergerak ke kiri dan kanan	Berhasil
		Menekan <i>key space</i>	Player karakter akan melompat	Berhasil
		Menekan <i>key J</i>	Player karakter akan menembak	Berhasil
		Tidak ada	Hati <i>player</i> karakter akan berkurang jika terkena monster	Berhasil
		Menekan <i>key space</i> pada balok persegi panjang	Memanjat blok persegi panjang	Berhasil
4	Monster Roti berjamur	Tidak ada	Monster berjalan ke kanan dan ke kiri	Berhasil
		Tidak ada	Monster akan mati jika dilompati	Berhasil
5	Monster Tanaman Penembak	Tidak ada	Monster akan menembakkan peluru hijau	Berhasil
		Tidak ada	Monster akan mati jika dilompati	Berhasil
6	Monster Ayam Goreng Terbang	Tidak ada	Monster akan mati jika dilompati	Berhasil
		Tidak ada	Monster akan terbang ke atas dan ke bawah	Berhasil
7	Monster Botol Menetes	Tidak ada	Monster akan terbang di tempat	Berhasil
		Tidak ada	Monster akan terbang ke kiri dan ke kanan	berhasil
		Tidak ada	Monster akan mati jika tertembak	berhasil
8	Monster Kardus Ngebut	Tidak ada	Monster akan mati jika tertembak	Berhasil
		Tidak ada	Monster akan bergerak ke atas ke bawah dengan cepat	Berhasil
		Tidak ada	Monster akan bergerak cepat ke kiri dan ke kanan	Berhasil
9	Monster Slime Limbah Ngesot	Tidak ada	Monster akan bergerak ke kiri dan kanan	Berhasil
10	Jebakan Baterai Nyetrum	Tidak ada	Jebakan akan menyala ketika karakter dekat <i>player</i> karakter	Berhasil
11	Jebakan Obat Kadarluarsa	Tidak ada	Jebakan akan menembakkan monster obat	berhasil
12	Halaman Jeda	Tidak ada	Menampilkan lanjutkan, <i>sounds, music, fullscreen</i> , menu utama dan keluar	Berhasil
		Menekan tombol lanjutkan	Melanjutkan permainan	Berhasil
		Menekan <i>key Q</i> di <i>sounds</i>	Menambah dan mengurangi suara <i>sound effect</i>	Berhasil
		Menekan <i>key Q music</i>	Menambah dan mengurangi suara musik	Berhasil
		Menekan <i>Fullscreen</i>	Mengubah tampilan <i>screen</i> jadi penuh dan tidak <i>windowed screen</i>	Berhasil
		Menekan tombol Menu utama	Pindah ke halaman menu utama	Berhasil
		Menemukan tombol keluar	Keluar dai <i>Game</i>	Berhasil
13	NPC	Menekan <i>key E</i>	Memulai percakapan dengan NPC	Berhasil
		Tidak ada	Menampilkan dialog	Berhasil
		Menekan tombol Selanjutnya	Melanjutkan dialog NPC	Berhasil
14	<i>Spike</i>	Tidak ada	Player karakter akan mati jika terkenda <i>spike</i>	Berhasil
15	Halaman Ending	Menekan tombol Skip	Kembali ke halaman menu utama	Berhasil

Kesimpulan dari tabel ini menunjukkan bahwa setiap interaksi yang diuji menghasilkan output sesuai dengan yang diharapkan (semua hasil adalah "Berhasil"). Ini mengindikasikan bahwa pengujian telah dilakukan dengan sukses untuk adegan dan input yang diuji. Jika setiap tester (6 orang) menguji semua

27 pengujian, maka total pengujian yang dilakukan adalah:

$$\text{Total Pengujian} = 27 \times 6 = 162 \text{ pengujian}$$

Dari total 162 pengujian yang dilakukan, jika semua pengujian berhasil, maka persentase keberhasilannya tetap:

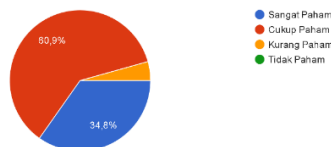
$$\text{Persentase Keberhasilan} = \left(\frac{162}{162} \right) \times 100 = 100\%$$

Jadi, setiap tester melakukan semua 27 pengujian, dan hasilnya semua berhasil, sehingga tingkat keberhasilan pengujian keseluruhan tetap 100%.

4.7. Beta

Pada tahap beta, versi awal game yang sudah cukup lengkap dirilis kepada sekelompok pengguna yang lebih luas. Tujuannya adalah untuk mendapatkan umpan balik dari pengguna nyata, menemukan dan memperbaiki bug yang belum terdeteksi, serta menguji performa game dalam kondisi nyata. Berikut adalah pertanyaan-pertanyaan yang diajukan.

Apakah pemahamanmu tentang jenis sampah B3 bertambah setelah memainkan game ini?
23 jawaban



Gambar 7. Hasil kusioner beta 1

Jelaskan bug yang dialami

9 jawaban

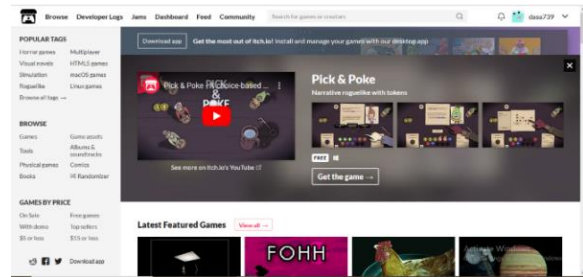
- Tidak ada
- Terkadang musuh tidak mati kalau dilompat
- eweh bug ning
- Terkadang lompat nya stuck
- Terkadang saat jalan tiba-tiba stuck
- Musuh organik kadang tidak mati kalau dilompatin
- Terkadang stuck di tengah jalan

Gambar 8. Hasil kusioner beta 2

Sebagian besar responden melaporkan masalah dengan musuh dan pergerakan karakter, seperti musuh tidak mati saat dilompat dan karakter yang terkadang stuck. Setelah penyelidikan, ditemukan bahwa *bug* disebabkan oleh *box collider asset*. Setelah perbaikan, *game* berjalan dengan lancar.

4.8. Release

Pada tahap ini, game akan dipublikasikan ke publik melalui *website* Itch.io.



Gambar 9. Website Itch.io

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan game Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa pengembangan game edukasi untuk pengenalan jenis-jenis sampah organik, anorganik, dan B3 berhasil mencapai tujuannya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua fitur dan mekanisme gameplay berfungsi dengan baik, termasuk navigasi, gerakan karakter, interaksi dengan musuh, serta berbagai elemen edukatif yang telah meningkatkan pemahaman pemain, terutama anak-anak, mengenai klasifikasi sampah dan dampaknya terhadap lingkungan. Game ini tidak hanya menarik secara visual dan interaktif, tetapi juga efektif dalam menyampaikan pesan edukasi.

Sebagai saran untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan untuk melakukan optimisasi performa game di berbagai perangkat, terutama yang memiliki spesifikasi lebih rendah, guna memastikan pengalaman bermain yang lebih luas dan inklusif. Selain itu, penambahan fitur edukatif tambahan, seperti informasi lebih lanjut tentang daur ulang atau dampak lingkungan dari sampah, dapat memperkaya pengalaman belajar pemain dan meningkatkan kesadaran lingkungan melalui permainan ini. Langkah-langkah ini akan membantu meningkatkan daya tarik dan efektivitas game sebagai alat pembelajaran yang interaktif dan menyenangkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ni Wayan Rahayuni. (2023). *Yuk Pilah Sampahmu*. Kementerian Kesehatan RI. https://yankes.kemkes.go.id/view_artikel/2830/yuk-pilah-sampahmu.
- [2] A Ammar, M. F. E., Priyawati, D., Al Isyadi, F. Y., & Pamungkas, E. W. (2023). *Development of Southeast Asian Geographic Introduction Education Game for Elementary School*. *Edu Komputika Journal*, 9(2), 88–96. <https://doi.org/10.15294/edukomputika.v9i2.62494>.
- [3] Coronado, E., Itadera, S., & Ramirez-alpizar, I. G. (2023). Integrating Virtual, Mixed, and Augmented Reality to Human–Robot Interaction Applications Using Game Engines: A Brief Review of Accessible Software Tools and Frameworks. *Applied Science*, 13.
- [4] Prasetyo, R. M. M., Syaputra, H., Cholil, W., & Sauda, S. (2021). Rancang Dan Bangun Game

- Edukasi Anak-Anak Berbasis Android Dengan Unity Menggunakan Metode Game Development Life Cycle. *Jurnal Nasional Ilmu Komputer*, 2(2), 103–111. <https://doi.org/10.47747/jurnalnik.v2i2.526>.
- [5] Amin, F., Fhadli, M., Arief, A., & Muin, Y. (2023). Dungeon Code: Educational Game For Algorithm and Data Structure Courses by Applying The Game Development Life Cycle Method. *Technium: Romanian Journal of Applied Sciences and Technology*, 17, 138–144. www.techniumscience.com.
- [6] Sahibgareeva, G. (2020). *Visualization Component for the Scenario Prototype Generator as a Video Game Development Tool*.
- [7] Pranoto, S., Sutiono, S., Sarifudin, & Nasution, D. (2024). Penerapan UML Dalam Perancangan Sistem Informasi Pelaporan Dan Evaluasi Pembangunan Pada Bagian Administrasi Pembangunan Sekretariat Daerah Kota Tebing Tinggi. *Surplus: Jurnal Ekonomi Dan Bisnis*, 2(2), 384–401. <https://qjurnal.my.id/index.php/sur/article/view/866>
- [8] Herdiman, Pragantha, J., & Haris, D. A. (2019). PEMBUATAN GAME PLATFORMERS “ROBOT HERO” MULTI-PLATFORM. *Jiksi*, 7(2), 191–195.
- [9] Ammar, M. F. E., Priyawati, D., Al Isyadi, F. Y., & Pamungkas, E. W. (2023). Development of Southeast Asian Geographic Introduction Education Game for Elementary School. *Edu Komputika Journal*, 9(2), 88–96. <https://doi.org/10.15294/edukomputika.v9i2.62494>
- [10] Kulkarni, D. R. N., & Srinivasa, C. K. (2021). Novel Approach to Transform UML Sequence Diagram to Activity Diagram. *Journal of University of Shanghai for Science and Technology*, 23(07), 1247–1255. <https://doi.org/10.51201/jusst/21/07300>