

**PENGEMBANGAN *GAME URBAN HEAT ISLAND* UNTUK MENGETAHUI  
EFEKTIFITAS VEGETASI POHON TERHADAP PENURUNAN SUHU  
MENGUNAKAN TECHNIQUE FOR ORDER PREFERENCE BY  
SIMILARITY TO IDEAL SOLUTION (TOPSIS)**

**SKRIPSI**

Oleh :  
**DININDRIYA IZZATINISA**  
**NIM. 210605110081**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2025**

**PENGEMBANGAN *GAME URBAN HEAT ISLAND* UNTUK MENGETAHUI  
EFEKTIFITAS VEGETASI POHON TERHADAP PENURUNAN SUHU  
MENGUNAKAN TECHNIQUE FOR ORDER PREFERENCE BY  
SIMILARITY TO IDEAL SOLUTION (TOPSIS)**

**SKRIPSI**

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

Oleh :  
**DININDRIYA IZZATINISA**  
**NIM. 210605110081**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2025**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**PENGEMBANGAN *GAME URBAN HEAT ISLAND* UNTUK MENGETAHUI  
EFEKTIFITAS VEGETASI POHON TERHADAP PENURUNAN SUHU  
MENGUNAKAN TECHNIQUE FOR ORDER PREFERENCE BY  
SIMILARITY TO IDEAL SOLUTION (TOPSIS)**

**SKRIPSI**

Oleh :  
**DININDRIYA IZZATINISA**  
**NIM. 210605110081**

Telah Diperiksa dan Disetujui pada tanggal  
30 April 2025

Pembimbing I,



Dr. Yunifa Miftahul Arif, M.T  
NIP. 19830616 201101 1 004

Pembimbing II,



Dr. M. Imamudin, Lc., MA  
NIP. 19740602 200901 1 010

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



  
Dr. H. Fachrul Kurniawan, M.MT., IPU  
NIP. 19771020 200912 1 001

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PENGEMBANGAN *GAME URBAN HEAT ISLAND* UNTUK MENGETAHUI  
EFEKTIFITAS VEGETASI POHON TERHADAP PENURUNAN SUHU  
MENGUNAKAN TECHNIQUE FOR ORDER PREFERENCE BY  
SIMILARITY TO IDEAL SOLUTION (TOPSIS)**

**SKRIPSI**

Oleh :  
**DININDRIYA IZZATINISA**  
**NIM. 210605110081**

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan  
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan untuk  
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)  
Tanggal : 20 Mei 2025

**Susunan Dewan Penguji**

Ketua Penguji : Dr. Ir. Fachrul Kurniawan, M.MT., IPU  
NIP. 19771020 200912 1 001

Anggota Penguji I : Dr. Ir. Fresy Nugroho , M.T., IPM  
NIP. 19710722 201 101 1 001

Anggota Penguji II : Dr. Yunifa Miftahul Arif, M.T  
NIP. 19830616 201101 1 004

Anggota Penguji III : Dr. M. Imamudin, Lc., MA  
NIP. 19740602 200901 1 010



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



Dr. Ir. Fachrul Kurniawan, M.MT., IPU  
NIP. 19771020 200912 1 001

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dinindriya Izzatinisa  
NIM : 210605110081  
Fakultas/Program Studi : Sains dan Teknologi / Teknik Informatika  
Judul Skripsi : Pengembangan *Game Urban Heat Island* untuk Mengetahui Efektifitas Vegetasi Pohon terhadap Penurunan Suhu Menggunakan *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)*

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 mencatumkan 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, 16 Mei 2025  
Yang membuat pernyataan,



Dinindriya Izzatinisa  
NIM.210605110081

**MOTTO**

Talk Less Do More

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji Syukur atas kehadiran *Allah Subhanahu wa ta'ala*, karena berkat rahmat dan petunjuk-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. *Shalawat* serta salam kepada *Rasulullah Shallallahu 'alaihi wasallam*, yang telah membawa kita dari zaman *jahiliyah* menuju *addinul Islam*.

Penulis mempersembahkan karya ini kepada kedua orang tua, kerabat, teman, kakak tingkat, dan sahabat yang telah menemani perkuliahan daring maupun luring. Tanpa bantuan mereka penulis tidak akan bisa sampai di titik ini.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada kehadiran Allah Swt yang telah melimpahkan nikmat serta karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan penulisan Skripsi yang berjudul **Pengembangan *Game Urban Heat Island* untuk Mengetahui Efektifitas Vegetasi Pohon terhadap Penurunan Suhu Menggunakan *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS)** dengan baik dan tepat waktu.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari banyak pihak yang terlibat baik dalam proses membimbing penulisan dan juga memberikan semangat dan dukungan. Untuk itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H.M. Zainuddin, MA., selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. Sri Hariani, M.Si., selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Fachrul Kurniawan, M.MT., IPM, selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. Yunifa Miftachul Arif, M.T selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan banyak dukungan dan bimbingan dalam penulisan skripsi ini.
5. Dr. Fresy Nugroho, M.T selaku Ketua Penguji yang telah memberikan banyak saran dan juga dukungan untuk menyelesaikan skripsi ini.
6. Dr. M. Imamudin, Lc., MA selaku dosen penguji II yang telah menguji serta memberikan masukan dalam penulisan skripsi ini.

7. Seluruh Dosen dan Jajaran Staf Program Studi Teknik Informatika yang telah memberikan banyak bantuan dalam skripsi ini.
8. Kedua orang tua, Ayah Asep dan Mama Erma, Ibuk Wariah, Om Erwin, Tante Ella, Lilic, Ma'e yang telah memberikan dukungan hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
9. Teman-teman dan kakak-kakak tingkat, Qimal, Petir, Hamidah, Fitria, Dila, Adila, Nurul, Kak Salma, Kak Shinta yang telah membantu dan banyak menginspirasi selama penyelesaian skripsi ini.
10. Seluruh teman-teman Angkatan 2021 Teknik Informatika yang telah banyak membantu , mendukung, dan memotivasi dalam menyelesaikan penyusunan skripsi ini.
11. Semua responden yang telah memberikan kontribusi, saran, dan dukungan dalam perjalanan penulisan skripsi ini.
12. Kepada semua Musisi yang lagu-lagunya menemani proses penulisan skripsi ini, EXO, Daniel Caesar, Paul Partohap, Mac Ayres, Jeff Bernat, Jesse Barerra, Jeremy Passion, KISS OF LIFE, Ariana Grande.

Malang, 16 Mei 2025

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN.....	v
MOTTO .....	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiii
ABSTRAK.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
المخلص .....	xvi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II STUDI PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Kajian Teori.....	8
2.2.1 <i>Urban Heat Island</i> (UHI).....	8
2.2.2 Vegetasi sebagai Solusi untuk Mengurangi Dampak UHI .....	10
2.2.3 <i>Game</i> sebagai Alat Visualisasi Efektivitas Vegetasi .....	14
2.2.4 Metode Multi-Kriteria untuk Pemilihan Vegetasi .....	15
2.2.5 <i>Game User Experience Satisfaction Scale-18</i> (GUESS-18).....	19
<b>BAB III DESAIN DAN IMPLEMENTASI .....</b>	<b>22</b>
3.1 Kajian dan Perancangan <i>Game</i> .....	22
3.1.1 Kajian <i>Game</i> .....	22
3.1.2 Perancangan <i>Game</i> Menggunakan <i>Finite State Machine</i> .....	23
3.1.3 Perancangan Antarmuka <i>Game</i> .....	29
3.2 Rancangan Perhitungan TOPSIS .....	35
3.2.1 Alternatif.....	36
3.2.2 Kriteria .....	36
3.2.3 Matriks Keputusan .....	38
3.2.4 Normalisasi Matriks Keputusan .....	39
3.2.5 Normalisasi Terbobot .....	40
3.2.6 Solusi Ideal Positif dan Negatif.....	40
3.2.7 Menghitung Nilai Pemisah .....	41
3.2.8 Koefisien Terdekat .....	41
3.2.9 Rencana Pengujian Sistem .....	42
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>44</b>
4.1 Implementasi Sistem .....	44
4.2 Pengujian Sistem .....	51
4.2.1 Uji Coba Hasil TOPSIS Pada <i>Game</i> .....	51
4.2.2 Hasil Uji Coba.....	63

4.2.3 Tanggapan Ahli Lingkungan .....	67
4.3 Pengujian <i>Usability Game</i> .....	68
4.4 Integrasi Sains dalam Islam .....	75
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>80</b>
5.1 Kesimpulan .....	80
5.2 Saran .....	81
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Denah Perumahan Borobudur Agung .....	10
Gambar 3. 1 <i>Finite State Machine</i> .....	24
Gambar 3. 2 <i>Wireframe</i> Tampilan Awal <i>Game</i> .....	25
Gambar 3. 3 <i>Wireframe</i> Tampilan Perumahan.....	26
Gambar 3. 4 <i>Wireframe</i> Tampilan Tantangan .....	26
Gambar 3. 5 <i>Wireframe</i> Tampilan Slider .....	27
Gambar 3. 6 <i>Wireframe</i> Skenario Vegetasi .....	28
Gambar 3. 7 Tampilan awal <i>game</i> .....	29
Gambar 3. 8 Menu Pengaturan.....	30
Gambar 3. 9 Tampilan Awal Perumahan.....	31
Gambar 3. 10 Panel <i>Challenge</i> .....	32
Gambar 3. 11 <i>Slider</i> Kriteria .....	32
Gambar 3. 12 Panel Perangkingan .....	33
Gambar 3. 13 Perumahan dengan Vegetasi .....	34
Gambar 3. 14 <i>Game</i> Selesai .....	35
Gambar 4. 1 Uji Coba C1.....	52
Gambar 4. 2 Hasil Uji Coba C1 .....	52
Gambar 4. 3 Skenario Pohon Sengon.....	53
Gambar 4. 4 Skenario Pohon Tabebuia .....	53
Gambar 4. 5 Skenario Pohon Beringin.....	54
Gambar 4. 6 Uji Coba C2.....	54
Gambar 4. 7 Hasil Uji Coba C2 .....	55
Gambar 4. 8 Skenario Pohon Beringin.....	55
Gambar 4. 9 Skenario Pohon Tanjung.....	56
Gambar 4. 10 Skenario Pohon Pule.....	56
Gambar 4. 11 Uji Coba C3.....	57
Gambar 4. 12 Hasil Uji Coba C3 .....	57
Gambar 4. 13 Skenario Pohon Kersen .....	58
Gambar 4. 14 Skenario Pohon Ketapang Kencana .....	58
Gambar 4. 15 Uji Coba C4.....	59
Gambar 4. 16 Hasil Uji Coba C4 .....	59
Gambar 4. 17 Skenario Pohon Kamboja .....	60
Gambar 4. 18 Skenario Pohon Flamboyan.....	60
Gambar 4. 19 Uji Coba C5 Kedua .....	61
Gambar 4. 20 Hasil Uji Coba C4 Kedua .....	61
Gambar 4. 21 Skenario Pohon Akasia .....	62
Gambar 4. 22 Grafik <i>Usability</i> .....	69
Gambar 4. 23 Grafik <i>Narratives</i> .....	69
Gambar 4. 24 Grafik <i>Engrossment</i> .....	70
Gambar 4. 25 Grafik <i>Enjoyment</i> .....	70
Gambar 4. 26 Grafik <i>Creative Freedom</i> .....	71
Gambar 4. 27 Grafik <i>Audio Aesthetic</i> .....	72
Gambar 4. 28 Grafik <i>Personal Gratification</i> .....	72
Gambar 4. 29 Grafik <i>Visual Aesthetic</i> .....	73

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian terkait.....	8
Tabel 2. 2 Pernyataan GUESS-18 (Sumber Keebler et al., 2020).....	19
Tabel 3. 1 Kriteria .....	36
Tabel 3. 2 Perhitungan Pembobotan.....	37
Tabel 3. 3 Ketentuan Nilai Kriteria .....	38
Tabel 3. 4 Matriks Keputusan.....	39
Tabel 3. 5 Normalisasi matriks keputusan.....	39
Tabel 3. 6 Normalisasi terbobot metode TOPSIS .....	40
Tabel 3. 7 Normalisasi terbobot metode TOPSIS .....	40
Tabel 3. 8 Nilai Pemisah .....	41
Tabel 3. 9 Nilai Koefisien Terdekat.....	41
Tabel 3. 10 Pernyataan adaptasi dari GUESS-18 .....	42
Tabel 4. 1 Matriks Keputusan.....	45
Tabel 4. 2 Normalisasi Matriks Keputusan.....	46
Tabel 4. 3 Normalisasi Terbobot .....	47
Tabel 4. 4 Solusi Ideal Positif Ideal Negatif .....	48
Tabel 4. 5 Perhitungan Jarak .....	49
Tabel 4. 6 Nilai Preferensi.....	50
Tabel 4. 7 Hasil Uji Coba.....	63
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian GUESS 18 .....	73

## ABSTRAK

Izzatinisa, Dinindriya. 2025 **Pengembangan Game Urban Heat Island untuk Mengetahui Efektifitas Vegetasi Pohon Terhadap Penurunan Suhu Menggunakan *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)***. Skripsi Program Studi Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Dr. Yunifa Miftachul Arif, M.T (II) Dr. M. Imamudin, Lc., MA.

**Kata kunci:** *Game, Urban Heat Island, Vegetasi Pohon, Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*

Penelitian ini menggunakan metode *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)* untuk menentukan skenario dalam game vegetasi pohon “*Urban Greener*”. Skenario tersebut ditentukan berdasarkan input dari slider yang mencakup Penurunan Suhu, Laju Evapotranspirasi, Efisiensi Biaya, Estetika. Metode TOPSIS diimplementasikan pada slider dengan nilai 1-5. Terdapat 625 percobaan input yang mungkin, dengan setiap input memiliki nilai yang berbeda dan skenario yang berbeda yaitu Ketapang Kencana, Tabebuia, Pule, Tanjung, Kamboja, Sengon, Beringin, Kersen, Akasia, Pohon Flamboyan. Kemudian, dilakukan pengujian usability dengan 40 responden menggunakan Game User Experience Satisfaction Scale-18 (GUESS-18), yang memberikan skor keseluruhan evaluasi sebesar yaitu 48,47 atau 86,5% dari nilai maksimal 56. Dapat ditarik kesimpulan bahwa sebagian besar player merasa cukup puas dengan apa yang disajikan game ini pada beberapa aspek.

## ABSTRACT

Izzatinisa, Dinindriya. 2025. **Development of an Urban Heat Island Game to Evaluate the Effectiveness of Tree Vegetation in Reducing Temperature Using the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS).** Undergraduate Thesis. Informatics Engineering Study Program, Faculty of Science and Technology, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisors: (I) Dr. Yunifa Miftachul Arif, M.T (II) Dr. M. Imamudin, Lc., MA.

**Kata kunci:** *Game, Urban Heat Island, Tree Vegetation, Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*

This study uses the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) method to determine scenarios in the tree vegetation game “Urban Greener.” These scenarios are based on slider inputs including Temperature Reduction, Evapotranspiration Rate, Cost Efficiency, and Aesthetics. The TOPSIS method is implemented on sliders with values ranging from 1 to 5. There are 625 possible input combinations, with each input generating a different scenario: Ketapang Kencana, Tabebuia, Pule, Tanjung, Kamboja, Sengon, Beringin, Kersen, Akasia, and Flamboyant Tree. Usability testing was conducted with 40 respondents using the Game User Experience Satisfaction Scale-18 (GUESS-18), yielding an overall evaluation score of 48.47 or 86.5% of the maximum score of 56. It can be concluded that most players were fairly satisfied with the aspects presented in this game.

## الملخص

عزة النساء ، دينندريا.2025. تطوير لعبة جزيرة الحرارة الحضرية لتقييم فعالية الغطاء النباتي للأشجار في خفض درجة الحرارة باستخدام تقنية تفضيل الترتيب بالتشابه مع الحل المثالي (TOPSIS). رسالة بكالوريوس. قسم هندسة المعلومات، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرفان: (1) د. يونيفا مفتاح العارف، ماجستير في التكنولوجيا، (2) د. محمد إمام الدين، ليسانس، ماجستير

**الكلمات المفتاحية:** لعبة، جزيرة الحرارة الحضرية، الغطاء النباتي، تقنية تفضيل الترتيب بالتشابه مع الحل المثالي

تستخدم هذه الدراسة طريقة TOPSIS لتحديد السيناريوهات في لعبة الغطاء النباتي للأشجار يتم تحديد هذه السيناريوهات بناءً على إدخال شريط التمرير التي تشمل خفض درجة الحرارة، معدل النتح، كفاءة التكلفة، والجمالية. تم تنفيذ طريقة TOPSIS على شريط تمرير بقيم تتراوح من 1 إلى 5. هناك 625 تركيبة إدخال ممكنة، تؤدي كل منها إلى سيناريو مختلف وهي: كيتابانغ كينشانا، تابوبويا، بولي، تانجونغ، كامبوجا، سينغون، بيرينغين، كيرسن، أكاسيا، وشجرة الفلامبويان. ثم تم إجراء اختبار قابلية الاستخدام على 40 مشاركًا باستخدام مقياس رضا تجربة المستخدم في الألعاب GUESS-18 ، والذي أعطى نتيجة تقييم إجمالية قدرها 48.47 أو 86.5٪ من الحد الأقصى 56. يمكن الاستنتاج أن معظم اللاعبين كانوا راضين إلى حد ما عن الجوانب التي تقدمها هذه اللعبة

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Fenomena *Urban Heat Island* (UHI) telah menjadi isu lingkungan yang signifikan di berbagai kota besar Indonesia, termasuk Malang. Pada tahun 2024, peningkatan suhu akibat UHI tercatat semakin kuat dirasakan di wilayah perkotaan. Faktor-faktor seperti konversi ruang hijau menjadi lahan terbangun dan penggunaan material bangunan dengan kapasitas termal tinggi memperburuk efek UHI. Di Kota Malang, misalnya, perkembangan tata kota yang bersifat kompak dan ekspansi ke arah utara menyebabkan konsentrasi *heat island* di pusat kota dan wilayah utara, meningkatkan suhu permukaan dan menurunkan kenyamanan lingkungan (ITS News, 2024).

Secara nasional, analisis dari BMKG menunjukkan bahwa efek UHI telah menyebabkan tren peningkatan suhu sebesar 0,2–1 derajat celsius dalam 30 tahun terakhir. Kota-kota seperti Malang, Surabaya, dan Jakarta termasuk dalam wilayah yang terdampak signifikan, dengan kurangnya vegetasi menjadi salah satu penyebab utamanya (BMKG, 2024). Peningkatan kesadaran masyarakat terhadap mitigasi UHI dianggap krusial untuk mengurangi dampak jangka panjangnya, termasuk risiko kesehatan dan konsumsi energi yang meningkat.

Pentingnya pengembangan Ruang Terbuka Hijau (RTH) di Kota Malang juga telah dibahas, mengingat luas RTH publik yang masih jauh di bawah ketentuan. Hal ini menunjukkan kebutuhan mendesak untuk menambah vegetasi dan memperbaiki

kualitas tata hijau kota sebagai langkah mitigasi UHI (Kinanthi Wahyu Kusumaningrum, 2021).

Vegetasi dikenal sebagai salah satu solusi paling efektif untuk mengurangi UHI karena memiliki kemampuan untuk memberikan efek pendinginan melalui evapotranspirasi dan penyediaan naungan. Pohon dan tanaman dapat membantu menurunkan suhu permukaan dan udara di sekitarnya, serta memperbaiki kualitas udara dengan menyerap polutan (Dissegna et al., 2019). Selain itu, vegetasi memberikan manfaat tambahan berupa estetika dan peningkatan kesejahteraan mental bagi penduduk perumahan, yang sering merasa lebih nyaman di ruang terbuka hijau (Aboelata, 2020).

Al-Qur'an sendiri menekankan pentingnya menjaga lingkungan dan menciptakan keharmonisan dengan alam. Sebagaimana firman Allah dalam Surah Ar-Rum ayat 41:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

*"Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)."* (QS. Ar-Rum: 41)

Ayat ini mengingatkan kita bahwa kerusakan lingkungan yang terjadi, termasuk fenomena UHI, sering kali disebabkan oleh tindakan manusia yang tidak bijak dalam memperlakukan alam. Oleh karena itu, menerapkan solusi seperti penggunaan vegetasi untuk mitigasi UHI merupakan salah satu cara untuk memulihkan keseimbangan lingkungan yang telah terganggu (Mubarok, 2022).

Agar implementasi vegetasi untuk pengurangan intensitas UHI lebih efektif, diperlukan pendekatan sistematis dalam memilih jenis vegetasi yang tepat.

Pemilihan ini harus mempertimbangkan efektivitas dalam menurunkan suhu, efisiensi biaya implementasi, laju evapotranspirasi, dan aspek estetika. Metode seperti *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* atau TOPSIS dapat digunakan untuk mengevaluasi dan menentukan jenis vegetasi yang optimal berdasarkan kriteria tersebut (Lin et al., 2021).

Selain vegetasi, visualisasi berbasis teknologi seperti *serious game* telah digunakan dalam penelitian sebelumnya untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang isu lingkungan, termasuk UHI. *Game* edukasi memungkinkan masyarakat memahami mekanisme UHI serta solusi seperti penggunaan vegetasi, atap hijau, dan dinding hijau dengan cara yang interaktif dan menarik (Crisman et al., 2023). Penggabungan metode ini dengan penelitian berbasis vegetasi dapat memperkuat upaya pengurangan efek UHI secara menyeluruh.

Dalam konteks ini, pengembangan *game* dirancang sebagai sarana untuk meningkatkan pemahaman pemain tentang fenomena UHI dan peran vegetasi pohon dalam mengurangi efek UHI. *Game* ini menyajikan bagaimana vegetasi pohon dapat membantu mengurangi suhu lingkungan secara signifikan. Harapannya, *game* ini tidak hanya memberikan informasi, tetapi juga mendorong partisipasi aktif masyarakat dalam mendukung solusi berbasis vegetasi untuk mengurangi dampak buruk UHI.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Bagaimana hasil perbandingan vegetasi pohon menggunakan metode TOPSIS dapat diterapkan dalam skenario *game* serta dampaknya terhadap penurunan suhu lingkungan.

### 1.3 Batasan Masalah

1. Analisis fokus pada 10 vegetasi pohon untuk mitigasi UHI di perumahan beriklim tropis/subtropis, yaitu Ketapang Kencana, Tabebuia, Pohon Pule, Tanjung, Kamboja, Sengon, Beringin, Kersen, Akasia, Pohon Flamboyan.
2. Penilaian menggunakan metode TOPSIS berdasarkan empat kriteria: pengurangan suhu, laju evapotranspirasi, efisiensi biaya, dan estetika.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Mengembangkan *game* yang mampu mensimulasikan dan mengintegrasikan hasil perancangan vegetasi menggunakan metode TOPSIS untuk meningkatkan pemahaman pemain mengenai peran vegetasi pohon dalam penanganan *Urban Heat Island* (UHI) dan dampaknya terhadap penurunan suhu lingkungan.

### 1.5 Manfaat Penelitian

1. Kontribusi ilmiah: Menambah referensi ilmiah mengenai penerapan metode TOPSIS dalam pemilihan vegetasi untuk penangan UHI, yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya di bidang perkotaan dan lingkungan.
2. Manfaat praktis: Memberikan edukasi dalam memilih vegetasi yang optimal untuk mengurangi UHI, sehingga menciptakan ruang perumahan yang lebih sejuk dan nyaman.
3. Peningkatan kualitas lingkungan: Dengan pilihan vegetasi yang tepat, diharapkan suhu udara di area perkotaan dapat diturunkan, yang pada gilirannya mengurangi penggunaan energi dan meningkatkan kualitas hidup warga perumahan.

## **BAB II**

### **STUDI PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

*Game* telah dikenal sebagai solusi efektif untuk mengatasi berbagai tantangan, termasuk pengurangan stres dan peningkatan keterampilan kognitif. *Game* tertentu dapat memberikan pengalaman immersif yang merangsang interaksi aktif sekaligus menciptakan lingkungan yang mendukung relaksasi. Penelitian oleh Yang et al. (2017) meneliti pengaruh peningkatan elemen interaktif dalam *game* edukasi di lingkungan virtual di Taipei, Taiwan, dan menunjukkan bahwa peningkatan elemen interaktivitas secara signifikan meningkatkan keterlibatan pengguna dan hasil pembelajaran. Melalui model numerik, penelitian tersebut menemukan bahwa semakin kaya konten interaktif dalam *game*, semakin besar dampaknya terhadap pengalaman pengguna dan pembelajaran (Yang et al., 2017).

Penelitian lain oleh Dissegna et al. (2019) menyelidiki bagaimana desain tiga dimensi dunia dalam *game* memengaruhi pengalaman pemain, termasuk anggaran waktu bermain. Dengan menggunakan model pemrosesan radiasi kognitif dalam desain visual *game*, mereka menunjukkan bahwa elemen vegetasi dan pencahayaan virtual secara signifikan meningkatkan kenyamanan visual pemain, sehingga menciptakan pengalaman yang lebih mendalam dan immersif (Dissegna et al., 2019).

Lebih lanjut, penelitian oleh Lin et al. (2021) juga menggunakan metode TOPSIS dalam mengevaluasi efektivitas desain *game* dalam mendukung pembelajaran. TOPSIS terbukti sangat efektif dalam mengatasi masalah yang

memiliki banyak kriteria yang harus dipertimbangkan, seperti kesesuaian desain dengan target audiens, kompleksitas *gameplay*, dan nilai edukatif. TOPSIS membantu menentukan desain *game* optimal dengan membandingkan berbagai alternatif berdasarkan kedekatan mereka dengan solusi ideal positif, suatu pendekatan yang sangat cocok untuk pengembangan *game* edukasi dan hiburan (Lin et al., 2021).

Penelitian *game* juga telah banyak digunakan untuk memodelkan pengaruh desain *game* terhadap pengalaman pengguna. Misalnya, Aboelata (2020) menggunakan model Unity untuk menggambarkan pengaruh elemen desain *game* terhadap performa kognitif pemain di berbagai genre. Penelitian ini menemukan bahwa kombinasi yang tepat dari tantangan dalam *game* dan elemen visual dapat secara signifikan meningkatkan keterlibatan pemain sekaligus mendukung pengembangan keterampilan kognitif tertentu, seperti pemecahan masalah (Aboelata, 2020).

Demikian pula, Zhang et al. (2022) menggunakan pengalaman pemain untuk memahami bagaimana elemen desain *game* dapat memitigasi stres secara global. Mereka memodelkan pengaruh karakteristik mekanisme *game* dan lingkungan virtual terhadap tingkat relaksasi pemain, dan hasilnya menunjukkan bahwa pengaturan elemen visual dan narasi yang tepat dapat secara signifikan meningkatkan manfaat psikologis dari bermain *game* (Zhang et al., 2022).

Dalam konteks desain *game*, penggunaan metode multi-kriteria sangat penting untuk mengevaluasi berbagai alternatif desain yang memenuhi kriteria yang berbeda. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah TOPSIS, yang

memungkinkan evaluasi alternatif berdasarkan kedekatannya dengan solusi ideal. Lin et al. (2021) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa metode TOPSIS dapat diintegrasikan dengan Monte Carlo (MCS) untuk mengatasi ketidakpastian dalam pengambilan keputusan multi-kriteria. Studi ini menunjukkan bahwa TOPSIS efektif dalam mengevaluasi berbagai alternatif desain *game* dengan data yang memiliki tingkat ketidakpastian tinggi, seperti preferensi audiens yang beragam (Lin et al., 2021).

Selain itu, penelitian oleh Xu et al. (2017) menggunakan TOPSIS yang ditingkatkan untuk pemilihan elemen dalam desain lingkungan virtual *game*. Metode ini memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih efektif dengan mempertimbangkan berbagai atribut, termasuk biaya pengembangan, daya tarik visual, dan efektivitas *gameplay*. TOPSIS yang digunakan dalam penelitian ini berhasil membantu proses pengambilan keputusan dengan menimbang faktor-faktor yang kompleks dan saling terkait dalam proyek pengembangan *game* (Xu et al., 2017).

Penelitian lain oleh Ameri et al. (2018) juga membandingkan beberapa metode multi-kriteria, termasuk TOPSIS, VIKOR, dan SAW, dalam konteks desain *game* adaptif. Penelitian ini menunjukkan bahwa TOPSIS dapat memberikan hasil yang lebih akurat dan beragam dalam pengambilan keputusan desain dibandingkan metode lainnya, terutama ketika terdapat banyak kriteria yang harus dipertimbangkan, seperti keseimbangan kesulitan, keasyikan, dan daya tarik visual. Pendekatan ini sangat relevan untuk pengembangan *game* modern, di mana

berbagai faktor, seperti pengalaman pengguna dan efektivitas pembelajaran, perlu dipertimbangkan secara simultan (Ameri, Pourghasemi, & Cerda, 2018).

Tabel 2. 1 Penelitian terkait

Penulis	Topik	Metode	Hasil
Yang et al. (2017)	Pengaruh peningkatan vegetasi terhadap suhu di taman kota di Taipei	Model numerik	Peningkatan tutupan vegetasi secara signifikan mengurangi suhu di area perkotaan
Dissegna et al. (2019)	Struktur 3D vegetasi dan bangunan memengaruhi anggaran radiasi kota	Model transfer radiasi anisotropik	Vegetasi mengurangi radiasi yang diserap oleh permukaan perkotaan, menurunkan suhu
Wei et al. (2017)	Model pemilihan vegetasi untuk perlindungan ekologis tepi sungai	Metode multi-kriteria TOPSIS yang diperbaiki	Metode TOPSIS efektif mengevaluasi pilihan vegetasi berdasarkan ketahanan dan efektivitas
Aboelata (2020)	Pengaruh vegetasi terhadap performa termal di area perkotaan Kairo	Model ENVI-met	Kombinasi pohon dan tanaman penutup tanah menurunkan suhu dan kebutuhan energi
Lin et al. (2021)	Evaluasi multi-kriteria desain vegetasi dan ketidakpastian	Metode TOPSIS yang dikombinasikan dengan MCS	TOPSIS efektif mengevaluasi pilihan desain dalam kondisi dengan banyak ketidakpastian
Penelitian ini	Pemilihan vegetasi pohon untuk mitigasi UHI di perumahan dalam bentuk <i>game</i>	TOPSIS	Pemilihan vegetasi untuk pengurangan suhu, laju evapotranspirasi, biaya, dan estetika

## 2.2 Kajian Teori

### 2.2.1 Urban Heat Island (UHI)

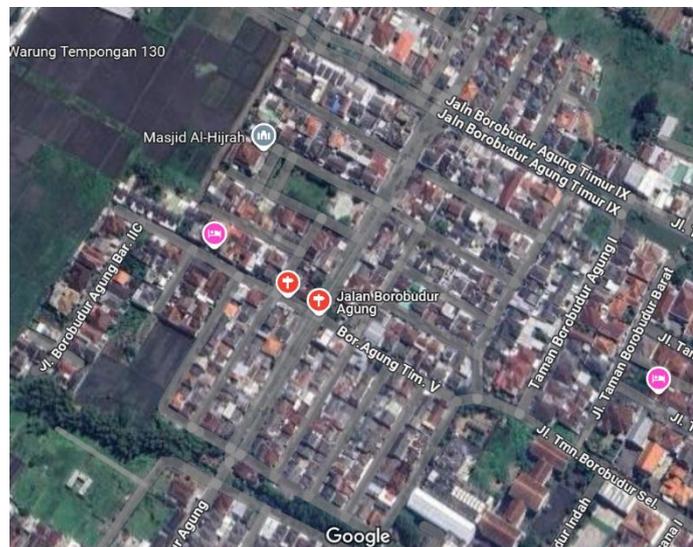
*Urban Heat Island* (UHI) adalah peningkatan suhu udara di kawasan perkotaan yang lebih tinggi dibandingkan daerah sekitarnya. Hal ini disebabkan

oleh aktivitas manusia dan penggunaan material permukaan yang menyerap dan melepaskan lebih banyak panas, seperti beton, aspal, dan bangunan. Vegetasi alami di daerah perkotaan biasanya sedikit, yang memperburuk efek ini karena hilangnya evapotranspirasi, proses alami yang membantu mendinginkan udara. UHI memiliki dampak langsung pada kualitas hidup, termasuk meningkatnya konsumsi energi untuk pendinginan, penurunan kualitas udara, serta peningkatan risiko kesehatan seperti *heat stroke* dan penyakit pernapasan (Santamouris et al., 2015).

Fenomena ini dapat ditemukan di berbagai kawasan perkotaan, termasuk di perumahan "Borobudur Agung" di Malang. Perumahan ini memiliki keterbatasan tutupan vegetasi yang signifikan, sehingga menyebabkan suhu di area tersebut relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kawasan sekitarnya. Denah perumahan yang didominasi oleh permukaan keras seperti jalanan beraspal dan minimnya pohon teduh semakin memperburuk efek UHI. Analisis awal menunjukkan bahwa perumahan ini sering mengalami kondisi iklim mikro yang panas, terutama pada siang hari.

Denah kawasan "Borobudur Agung" disajikan pada Gambar 2.1 untuk memberikan gambaran distribusi bangunan padat dan area yang kurang dimanfaatkan untuk vegetasi. Pemahaman ini menjadi inspirasi utama untuk pengembangan *game* yang bertujuan mengedukasi pengguna tentang penanganan UHI menggunakan strategi berbasis vegetasi. Hal ini sejalan dengan penelitian yang

menyatakan bahwa vegetasi dapat menurunkan suhu hingga 2–9°C di lingkungan perkotaan (Wong et al., 2021).



Gambar 2. 1 Denah Perumahan Borobudur Agung

### 2.2.2 Vegetasi sebagai Solusi untuk Mengurangi Dampak UHI

Vegetasi dikenal sebagai salah satu solusi paling efektif dalam penanganan UHI karena kemampuannya untuk meningkatkan evapotranspirasi dan menyediakan naungan. Menurut Yan et al. (2020), peningkatan rasio tutupan vegetasi sebesar 10% dapat menurunkan intensitas UHI hingga 0,55°C pada malam hari. Hal ini sangat penting karena UHI cenderung lebih kuat pada malam hari akibat penumpukan panas yang dilepaskan oleh bangunan di siang hari. Penelitian ini menggarisbawahi pentingnya meningkatkan area hijau di perkotaan untuk menjaga keseimbangan termal lingkungan perkotaan (Yan et al., 2020).

Sementara itu, Wang & Akbari (2016) menunjukkan bahwa penanaman pohon di jalan-jalan perkotaan di Montreal dapat mengurangi suhu udara pada ketinggian 20 meter sebesar 4°C pada siang hari. Pohon-pohon ini membantu

mencegah radiasi matahari langsung mencapai permukaan tanah dan bangunan, sehingga mengurangi suhu lingkungan perkotaan (Wang & Akbari, 2016). Studi ini mendukung argumen bahwa pohon besar, yang memiliki efek evapotranspirasi tinggi dan naungan yang baik, sangat penting dalam mitigasi UHI (Wang & Akbari, 2016).

Pemilihan vegetasi untuk mengurangi dampak buruk *Urban Heat Island* (UHI) di perumahan beriklim tropis merupakan langkah penting dalam meningkatkan kenyamanan termal lingkungan dan efisiensi energi. Berbagai jenis pohon dengan kemampuan penurunan suhu dan laju evapotranspirasi yang tinggi dapat berkontribusi signifikan dalam mengurangi dampak UHI. Salah satu tanaman yang sangat efektif adalah **Ketapang Kencana** (*Terminalia mantaly*), yang mampu menurunkan suhu lingkungan sebesar 2-3°C dengan laju evapotranspirasi 100-200 mm/tahun. Ketapang Kencana biasanya mulai bekerja optimal pada usia 3–5 tahun, menjadikannya ideal untuk perumahan yang memerlukan naungan yang baik dengan biaya implementasi yang relatif rendah (Dahlan, 2016).

Jenis pohon lainnya seperti **Tabebuia** (*Tabebuia rosea*), dengan bunga yang menarik dan kemampuan menurunkan suhu serupa, memberikan nilai estetika yang tinggi dan cocok untuk digunakan di perumahan yang ingin mempertahankan elemen visual yang menarik. Tabebuia biasanya efektif pada usia 5–7 tahun, saat tajuknya berkembang sepenuhnya, dengan laju evapotranspirasi sebesar 100-200 mm/tahun dan kemampuan mengurangi suhu lingkungan hingga 2-3°C (Anindita et al., 2023).

**Pohon Pule (*Alstonia scholaris*)** juga sangat cocok untuk mengurangi intensitas UHI, terutama karena kemampuannya menurunkan suhu sebesar 3-4°C dan memiliki laju evapotranspirasi tinggi, yaitu 200-300 mm/tahun. Pule efektif pada usia 7–10 tahun ketika kanopinya menjadi cukup rimbun untuk memberikan efek pendinginan yang maksimal. **Pohon Flamboyan (*Delonix regia*)**, dengan bunga mencolok dan kanopi lebar, memiliki manfaat serupa. Efek pendinginan Flamboyan optimal pada usia 7–10 tahun dengan kemampuan mengurangi suhu hingga 3-4°C (Ihsan & Rosleine, 2020).

**Tanjung (*Mimusops elengi*)** dan **Kamboja (*Plumeria alba*)** adalah tanaman berukuran sedang yang sering digunakan di kawasan perumahan karena kemampuannya dalam menurunkan suhu sebesar 1-2°C. Tanjung mulai efektif pada usia 5–7 tahun, sementara Kamboja memberikan tambahan nilai estetika dengan bunganya yang indah dan biasanya optimal pada usia 3–5 tahun, menjadikannya pilihan menarik untuk area halaman rumah (Dahlan, 2016).

**Sengon (*Albizia chinensis*)**, yang mampu menurunkan suhu lebih dari 4°C dengan laju evapotranspirasi lebih dari 300 mm/tahun, sangat efektif di kawasan tropis yang membutuhkan penanganan intens terhadap panas. Pohon ini mulai bekerja optimal pada usia 7–10 tahun, meskipun efisiensi biaya implementasinya relatif lebih tinggi dibandingkan pohon lainnya. **Beringin (*Ficus benjamina*)**, dengan laju evapotranspirasi 200-300 mm/tahun dan kemampuannya menurunkan suhu sebesar 3-4°C, mulai efektif pada usia 10–15 tahun karena pertumbuhan kanopi yang lebih lambat tetapi lebat (Ihsan & Rosleine, 2020).

**Kersen** (*Muntingia calabura*) dan **Akasia** (*Acacia auriculiformis*), meskipun ukurannya lebih kecil, juga memberikan kontribusi positif terhadap mitigasi UHI. Kersen mulai efektif pada usia 3–5 tahun dengan efisiensi biaya implementasi yang rendah, sementara Akasia membutuhkan waktu 6–8 tahun untuk memberikan efek pendinginan hingga 2-3°C dengan evapotranspirasi moderat sebesar 100-200 mm/tahun (Dahlan, 2016).

Secara umum, pohon mulai memberikan kontribusi nyata terhadap penanganan UHI sejak usia 3–5 tahun untuk jenis cepat tumbuh, dan 7–10 tahun atau lebih untuk jenis yang lebih besar dan lambat tumbuh. Oleh karena itu, perencanaan jenis pohon berdasarkan kebutuhan lingkungan dan waktu pertumbuhan sangat penting untuk keberhasilan penanganan UHI.

Dalam memilih vegetasi untuk penanganan *Urban Heat Island* (UHI), terdapat beberapa kriteria penting berdasarkan penelitian terdahulu. Kriteria pertama adalah **penurunan suhu**, yang menjadi indikator utama efektivitas vegetasi dalam mengurangi panas. Studi menunjukkan bahwa vegetasi dapat menurunkan suhu hingga 2–9°C pada permukaan tanah, tergantung pada jenis tanaman dan tingkat kepadatan vegetasi yang digunakan (Wong et al., 2021). Kriteria kedua adalah **laju evapotranspirasi**, karena proses ini memungkinkan tanaman untuk meningkatkan kelembaban udara dan memberikan efek pendinginan alami. Pohon berdaun lebar dengan laju evapotranspirasi tinggi secara signifikan berkontribusi pada pendinginan mikroklimat (Ballinas & Barradas, 2016).

Selanjutnya, **efisiensi biaya** menjadi faktor penting karena mencakup efisiensi ekonomi dalam penanaman, pemeliharaan, dan keberlanjutan vegetasi.

Faktor ini sangat relevan khususnya untuk daerah perkotaan dengan keterbatasan sumber daya (Ferrini et al., 2020). Terakhir, **estetika** juga menjadi pertimbangan penting, karena vegetasi yang menarik secara visual tidak hanya meningkatkan kenyamanan psikologis masyarakat perkotaan tetapi juga meningkatkan penerimaan publik terhadap program penghijauan (Adam et al., 2016).

Keempat kriteria ini dianggap paling penting karena telah teruji secara ilmiah dan mencakup berbagai aspek yang saling melengkapi dalam penanganan UHI. Penurunan suhu dan evapotranspirasi adalah indikator langsung efektivitas vegetasi terhadap pengurangan panas. Sementara itu, efisiensi biaya memastikan kelayakan implementasi dalam jangka panjang, dan estetika meningkatkan dukungan masyarakat yang penting untuk keberhasilan program di lingkungan perkotaan. Kombinasi ini mencerminkan keseimbangan antara efektivitas ilmiah dan penerapan praktis, menjadikannya kerangka yang komprehensif dalam memilih vegetasi untuk penanganan UHI.

### **2.2.3 *Game* sebagai Alat Visualisasi Efektivitas Vegetasi**

*Game* berbasis Unity memungkinkan pengguna untuk memvisualisasikan bagaimana perubahan vegetasi mempengaruhi suhu di wilayah perkotaan. Unity, sebagai platform pengembangan *game* yang mendukung, dapat digunakan untuk memodelkan variabel lingkungan seperti tutupan lahan, jenis vegetasi, dan efek naungan pada suhu udara. Penelitian oleh Chun & Guldmann (2014) menggunakan tiga dimensi untuk mengevaluasi berbagai skenario mitigasi UHI di kota Columbus, Ohio. Dengan model tersebut, mereka menemukan bahwa penerapan vegetasi seperti penanaman pohon besar dan penggunaan atap hijau secara signifikan

mengurangi intensitas UHI hingga 15.5% dalam skenario vegetasi tertentu (Chun & Guldmann, 2014).

Selain itu, penelitian yang menggunakan model ENVI-met oleh Ambrosini et al. (2014) menunjukkan bahwa penambahan vegetasi dalam skala kecil dapat memiliki dampak besar dalam mengurangi suhu permukaan pada wilayah berpenduduk padat seperti di pusat kota Italia (Ambrosini et al., 2014). Desain ini membantu menentukan strategi vegetasi yang optimal untuk mengurangi UHI dengan mempertimbangkan faktor seperti densitas bangunan dan kondisi iklim.

#### **2.2.4 Metode Multi-Kriteria untuk Pemilihan Vegetasi**

Dalam konteks penanganan UHI, pemilihan jenis vegetasi yang paling efektif harus dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai kriteria. Oleh karena itu, metode multi-kriteria seperti TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) banyak digunakan dalam evaluasi alternatif vegetasi. Xu et al. (2017) menggunakan metode TOPSIS yang ditingkatkan untuk pemilihan vegetasi pada proyek perlindungan tepi sungai. Studi ini menunjukkan bahwa TOPSIS dapat mengevaluasi berbagai atribut vegetasi, termasuk ketahanan lingkungan, efisiensi biaya implementasi, dan efektivitas dalam penanganan UHI. Hasil studi ini menunjukkan bahwa metode TOPSIS dapat membantu pengambilan keputusan dengan memperhitungkan banyak faktor yang berhubungan dengan keanekaragaman spesies tanaman dan kondisi lingkungan (Xu et al., 2017).

Penelitian lain oleh Lin et al. (2021) menunjukkan bahwa metode TOPSIS juga dapat diintegrasikan dengan Monte Carlo untuk mengatasi ketidakpastian dalam pengambilan keputusan multi-kriteria. Model ini memungkinkan evaluasi

yang lebih akurat terhadap berbagai alternatif vegetasi dalam kondisi yang kompleks, seperti perubahan iklim atau variasi musiman. TOPSIS dengan pendekatan Monte Carlo memberikan solusi yang optimal dengan mempertimbangkan data yang tidak pasti, menjadikannya pendekatan yang relevan dalam konteks penanganan UHI (Lin et al., 2021).

Metode TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) adalah teknik pengambilan keputusan multi-kriteria yang digunakan untuk menentukan alternatif terbaik berdasarkan kedekatan relatif dengan solusi ideal positif dan negatif.

Penerapan metode TOPSIS melibatkan beberapa tahapan yang terstruktur dan sistematis untuk mengevaluasi alternatif-alternatif yang ada. Berikut adalah tahapan-tahapan dalam penerapan metode TOPSIS:

Pada tahap pertama, dilakukan penyusunan matriks keputusan  $D$  yang mencantumkan setiap alternatif beserta nilai kinerjanya terhadap masing-masing kriteria yang telah ditentukan. Matriks keputusan ini terdiri dari  $m$  baris (jumlah alternatif) dan  $n$  kolom (jumlah kriteria). Setiap elemen matriks ( $x_{ij}$ ) mencerminkan performa dari alternatif  $i$  untuk kriteria  $j$ . Tahap pertama menggunakan rumus berikut :

$$D = x_{ij} \quad (2.1)$$

Tahap kedua adalah normalisasi matriks keputusan untuk mengubah semua nilai kriteria menjadi nilai tanpa dimensi, sehingga memungkinkan perbandingan

anta-kriteria yang memiliki unit pengukuran yang berbeda. Normalisasi dilakukan menggunakan rumus berikut

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (2.2)$$

$x_{ij}$  adalah nilai kinerja asli dari alternatif  $i$  pada kriteria  $j$ . Normalisasi ini memastikan bahwa semua nilai berada pada skala 0 hingga 1, di mana nilai 1 mencerminkan kinerja terbaik dan 0 mencerminkan kinerja terburuk pada kriteria tersebut.

Setelah nilai kinerja setiap alternatif dinormalisasi, langkah berikutnya adalah memberikan bobot  $w_{ij}$  pada setiap kriteria. Bobot ini mencerminkan tingkat kepentingan relatif dari masing-masing kriteria. Matriks normalisasi yang dibobotkan  $v_{ij}$  kemudian dihitung dengan rumus:

$$v_{ij} = r_{ij} \times w_{ij} \quad (2.3)$$

Di mana  $w_{ij}$  adalah bobot untuk kriteria  $j$  yang diberikan berdasarkan preferensi pengambil keputusan. Matriks yang dibobotkan ini memastikan bahwa kriteria yang lebih penting memberikan kontribusi yang lebih besar pada penilaian keseluruhan.

Pada tahap keempat, solusi ideal positif ( $A^+$ ) dan solusi ideal negatif ( $A^-$ ) ditentukan berdasarkan nilai kinerja terbaik dan terburuk dari setiap kriteria. Solusi ideal positif adalah himpunan dari nilai maksimum untuk setiap kriteria, sementara

solusi ideal negatif adalah himpunan dari nilai minimum untuk setiap kriteria.

Solusi ideal positif dan negatif dihitung sebagai:

$$A^+ = \{\max(v_{ij}) \mid j \in J\} \quad (2.4)$$

$$A^- = \{\min(v_{ij}) \mid j \in J\} \quad (2.5)$$

Setelah solusi ideal positif dan negatif ditentukan, langkah selanjutnya adalah menghitung jarak antara setiap alternatif dengan solusi ideal positif ( $S^+$ ) dan solusi ideal negatif ( $S^-$ ). Jarak ini dihitung menggunakan rumus Euclidean sebagai berikut:

$$S^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A^+)^2} \quad (2.7)$$

$$S^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A^-)^2} \quad (2.8)$$

Tahap terakhir adalah menghitung nilai preferensi ( $C_i$ ) untuk setiap alternatif berdasarkan kedekatannya dengan solusi ideal positif dan negatif. Nilai preferensi ini dihitung dengan rumus:

$$C_i = \frac{S^-}{S^+ + S^-} \quad (2.9)$$

Berdasarkan nilai preferensi  $C_i$ , setiap alternatif kemudian diurutkan dari yang terbaik hingga terburuk. Alternatif dengan nilai  $C_i$  tertinggi berada di peringkat pertama dan dianggap sebagai solusi terbaik untuk masalah yang sedang

dihadapi. Tahap ini memberikan hasil akhir mengenai alternatif mana yang sebaiknya dipilih dalam konteks penanganan UHI menggunakan vegetasi.

### 2.2.5 *Game User Experience Satisfaction Scale-18 (GUESS-18)*

GUESS merupakan instrumen komprehensif yang dikembangkan untuk mengukur kepuasan pengguna berdasarkan faktor-faktor utama dalam pengalaman bermain *game*. Skala ini dirancang dengan tujuan memberikan umpan balik berkualitas dari pengguna *game* yang kemudian dapat membantu pengembang *game* untuk menyempurnakan desain dan fitur *game* yang mereka kembangkan. GUESS dikembangkan melalui serangkaian langkah validasi, termasuk analisis faktor eksploratori dan konfirmatori, serta didukung oleh banyak penelitian empiris (Phan et al., 2016)

GUESS pada awalnya diusulkan dalam bentuk lengkap, tetapi kemudian disederhanakan menjadi GUESS-18, sebuah versi ringkas yang mempertahankan elemen-elemen inti dari versi aslinya dan digunakan secara luas dalam penelitian dan evaluasi *game* (Keebler et al., 2020).

GUESS-18 menggunakan 7 poin Likert Scale dengan respon penilaian poin (e.g., 1 = *Strongly Disagree*, 5 = *Somewhat Agree*, and 7 = *Strongly Agree*), Pernyataan dapat diatur atau ditampilkan seperti pada tabel 2.2 (Keebler et al., 2020).

Tabel 2. 2 Pernyataan GUESS-18 (Sumber Keebler et al., 2020)

Aspek	Pernyataan
Usability/Playability	<i>I find the controls of the game to be straightforward</i>
	<i>I find the game's interface to be easy to navigate</i>
Narratives	<i>I am captivated by the game's story from the beginning</i>
	<i>I enjoy the fantasy or story provided by the game</i>
Play Engrossment	<i>I feel detached from the outside world while playing the game</i>

	<i>I do not care to check events that are happening in the real world during the game</i>
Enjoyment	<i>I think the game is fun</i>
	<i>I feel bored while playing the games (REVERSE CODE)</i>
Creative Freedom	<i>I feel the game allows me to be imaginative</i>
	<i>I feel creative while playing the game</i>
Audio Aesthetic	<i>I enjoy the sound effects in the game</i>
	<i>I feel the game's audio (e.g., sound effects, music) enhances my gaming experience</i>
Personal Gratification	<i>I am very focused on my own performance while playing the game</i>
	<i>I want to do as well as possible during the game</i>
Social Connectivity	<i>I find the game supports social interaction (e.g., chat) between players</i>
	<i>I like to play this game with other players</i>
Visual Aesthetic	<i>I enjoy the game's graphics</i>
	<i>I think the game is visually appealing</i>

Pada Tabel 2.2, terdapat 9 aspek yang dimuat di dalam model GUESS-18 (Phan et al., 2016)

1. *Usability/Playability*: Mengukur kemudahan penggunaan kontrol dan navigasi *game* serta kenyamanan antarmuka pengguna.
2. *Narratives*: Mengevaluasi kualitas cerita atau narasi dalam *game* dan bagaimana hal itu memengaruhi keterlibatan pemain.
3. *Play Engrossment*: Mengukur sejauh mana pemain tenggelam dalam permainan, yaitu seberapa dalam fokus dan keterlibatan mereka.
4. *Enjoyment*: Menilai seberapa menyenangkan *game* tersebut dan apakah memberikan pengalaman yang memuaskan.
5. *Creative Freedom*: Mengukur kebebasan pemain untuk berekspresi dan membuat pilihan dalam *game*.
6. *Audio Aesthetic*: Menilai kualitas musik dan efek suara serta bagaimana elemen audio mendukung suasana permainan.

7. *Personal Gratification*: Mengukur seberapa memuaskan pencapaian dalam *game* terhadap pemain, termasuk penghargaan atau hadiah.
8. *Social Connectivity*: Menilai kemampuan *game* untuk mendorong interaksi sosial antar pemain, seperti fitur *multiplayer*.
9. *Visual Aesthetic*: Mengevaluasi kualitas grafis dan desain visual yang menarik dan konsisten secara estetika.

## **BAB III**

### **DESAIN DAN IMPLEMENTASI**

#### **3.1 Kajian dan Perancangan *Game***

Proyek penelitian ini berfokus pada pengembangan *game* berlatar belakang perumahan yang bertujuan untuk mengurangi fenomena *Urban Heat Island* (UHI) melalui penerapan vegetasi. *Game* ini juga akan mengintegrasikan metode *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) untuk memberikan optimalisasi keputusan dalam pemilihan jenis vegetasi.

##### **3.1.1 Kajian *Game***

*Game* ini menggunakan konsep di mana pemain berperan sebagai warga perumahan yang harus mengatasi fenomena *Urban Heat Island* (UHI) melalui penempatan vegetasi secara strategis. Pemain dapat memilih dari berbagai jenis pohon yang masing-masing memiliki karakteristik berbeda. Setiap tanaman memiliki skor efisiensi UHI yang dihitung menggunakan metode *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), berdasarkan faktor-faktor seperti tinggi tanaman, luas kanopi, dan daya serap panas. Metode TOPSIS digunakan untuk membantu pemain menentukan vegetasi mana yang paling optimal ditempatkan di area tertentu dengan mempertimbangkan beberapa kriteria, seperti efektivitas penurunan suhu ( $\Delta T$ ), laju evapotranspirasi, efisiensi biaya perawatan, serta estetika dan kesesuaian dengan lingkungan. Setelah pemain memilih jenis tanaman, sistem akan melakukan perhitungan dan memberikan vegetasi pohon yang optimal.

*Game* ini juga menggambarkan kondisi cuaca dan perubahan suhu seiring waktu, di mana efek penurunan suhu akan terlihat secara visual dan ditampilkan dalam bentuk grafik atau indikator, memberikan umpan balik langsung kepada pemain. Dengan demikian, pemain dapat melihat dampak langsung dari pilihan vegetasi terhadap penurunan suhu lingkungan. Untuk menambah kompleksitas dan variasi permainan, *game* ini menyediakan beberapa skenario, seperti mengurangi UHI di area perumahan dengan lahan terbatas, optimalisasi vegetasi di perkotaan dengan kondisi bangunan yang padat, atau mempertahankan estetika perumahan tanpa mengorbankan efektivitas vegetasi. Skenario-skenario ini memberikan tantangan yang berbeda-beda, sehingga pemain dapat mempelajari dan mengaplikasikan strategi vegetasi yang sesuai dengan kondisi yang diberikan.

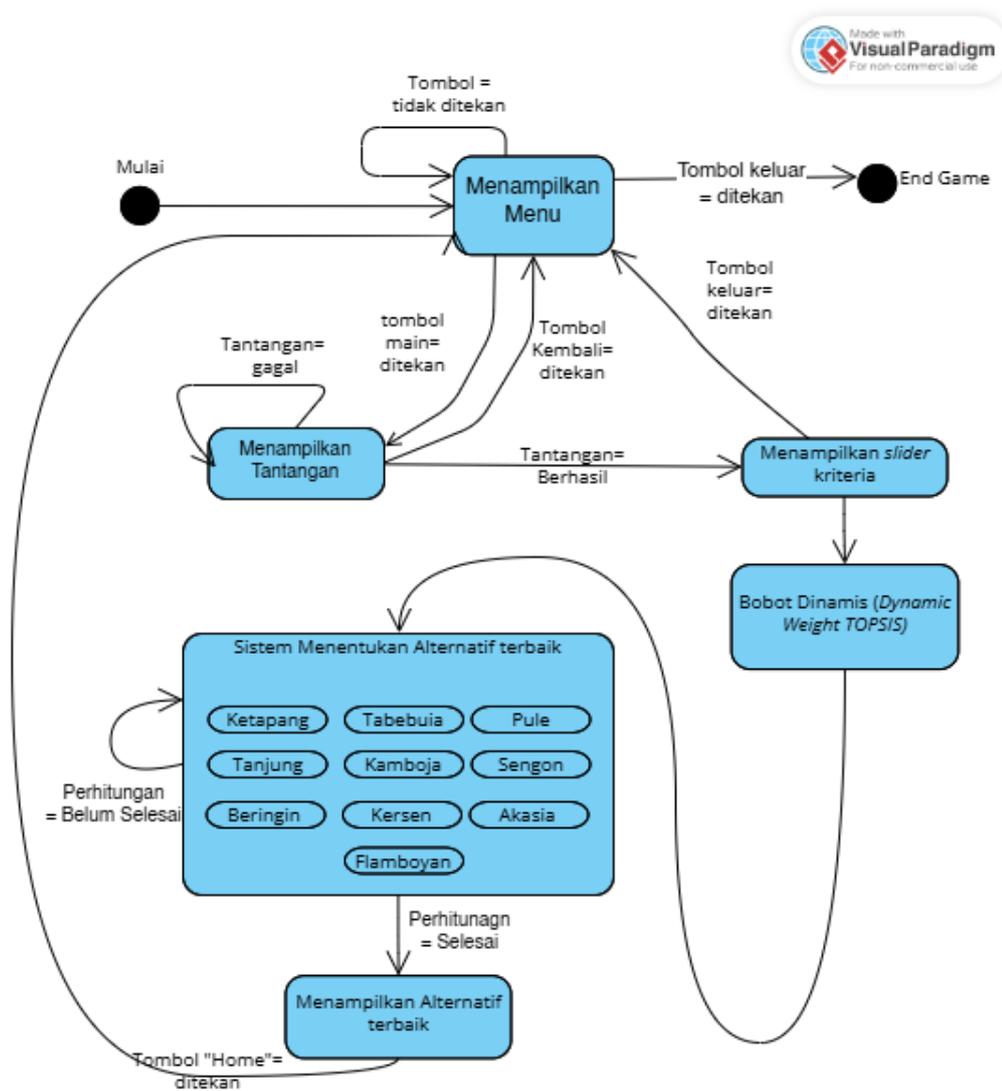
### **3.1.2 Perancangan *Game* Menggunakan *Finite State Machine***

*Finite State Machine* adalah model komputasi yang digunakan untuk menggambarkan perilaku suatu sistem melalui sejumlah terbatas keadaan (*states*) dan transisi antar keadaan tersebut. FSM sering digunakan dalam pengembangan aplikasi, termasuk *game*, karena kemampuannya dalam mengelola logika sistem yang kompleks dengan struktur yang terorganisir. Dalam FSM, setiap keadaan mewakili situasi tertentu dalam sistem, dan transisi terjadi berdasarkan kondisi atau aksi yang telah ditentukan sebelumnya. Pendekatan ini mempermudah pengembang untuk memetakan alur logika aplikasi secara visual dan sistematis, sehingga dapat mengurangi kemungkinan kesalahan selama pengembangan.

Dalam merancang *game*, peneliti memilih untuk *menggunakan Finite State Machine* (FSM) karena kemampuan utamanya untuk mengelola aplikasi yang

relatif besar dengan menggunakan sejumlah kecil item keadaan. *Finite State Machine* (FSM) biasanya dirancang untuk mendefinisikan dan mengelola alur utama dari suatu sistem atau *game*, yang sering kali berfokus pada *core gameplay*, yaitu elemen-elemen utama yang mendukung tujuan utama *game* tersebut.

Pada gambar 3.1 dijelaskan bagaimana alur dari *game* “Urban Greener” dan detail scene serta apa saja yang bisa dilakukan dalam menjalankan permainan tersebut.



Gambar 3. 1 *Finite State Machine*

Berikut adalah penjelasan rinci dari yang ditampilkan dalam diagram *Finite*

*State Machine*:

1. *Game* dibuka
  - a. Proses permainan dimulai.
  - b. Keadaan awal: Menampilkan Tampilan Awal *Game*.
2. Tampilan Awal *Game*
  - a. Deskripsi: Pada tahap ini, *game* menampilkan layar awal kepada pemain.
  - b. Aksi: Pemain menekan tombol "*Start*" untuk memulai permainan.
  - c. Transisi: Permainan dilanjutkan ke tampilan perumahan dengan suhu tinggi.



Gambar 3. 2 *Wireframe* Tampilan Awal *Game*

3. Menampilkan Perumahan dengan Suhu Tinggi
  - a. Deskripsi: *Game* menunjukkan simulasi lingkungan perumahan dengan suhu tinggi.
  - b. Aksi: Pemain mencari NPC untuk mendapatkan misi *game*.

- c. Transisi: Pemain menekan tombol untuk melanjutkan ke pengaturan kriteria.



Gambar 3. 3 *Wireframe* Tampilan Perumahan

#### 4. Menampilkan Tantangan dan Kriteria

- a. Tampilan Tantangan cara bermain



Gambar 3. 4 *Wireframe* Tampilan Tantangan

- b. Kriteria yang Ditampilkan: Penurunan Suhu, Laju Evapotranspirasi, Efisiensi biaya, Estetika.
- c. Aksi: Pemain dapat menggunakan *slider* untuk menyesuaikan nilai masing-masing kriteria.



Gambar 3. 5 *Wireframe* Tampilan Slider

- *Slider C1*: Memasukkan nilai Penurunan Suhu.
  - *Slider C2*: Memasukkan nilai Laju Evapotranspirasi.
  - *Slider C3*: Memasukkan nilai Efisiensi biaya.
  - *Slider C4*: Memasukkan nilai Estetika.
- d. Transisi: Setelah semua nilai diatur, pemain menekan tombol "*Next*".
3. Keberhasilan dalam Tantangan
    - a. Jika pemain berhasil memasukkan bobot sesuai tantangan maka akan lanjut ke tahap setelahnya.
    - b. Jika belum berhasil pemain akan masuk ke *slider* lagi untuk memasukkan bobot ulang sampai berhasil.
  4. Pemilihan Vegetasi (*Dynamic Weight TOPSIS*)
    - a. Deskripsi: Sistem menggunakan *Dynamic Weight TOPSIS* untuk menentukan jenis vegetasi berdasarkan kriteria yang telah dimasukkan oleh pemain.



- g. Skenario A7: Menerapkan Beringin.
  - h. Skenario A8: Menerapkan Kersen.
  - i. Skenario A9: Menerapkan Akasia.
  - j. Skenario A10: Menerapkan Pohon Flamboyan.
7. Akhir *Game* atau Kembali ke Menu
- a. Aksi: Jika pemain ingin mengulang permainan, mereka dapat kembali ke menu utama. Pemain juga dapat melihat koleksi kartu pohon yang merupakan data dari best alternatif yang mereka dapatkan.
  - b. Transisi: Jika pemain menekan tombol "*Kembali Game*", *game* kembali dimulai dari tampilan awal.

### 3.1.3 Perancangan Antarmuka *Game*

1. Tampilan awal *game*

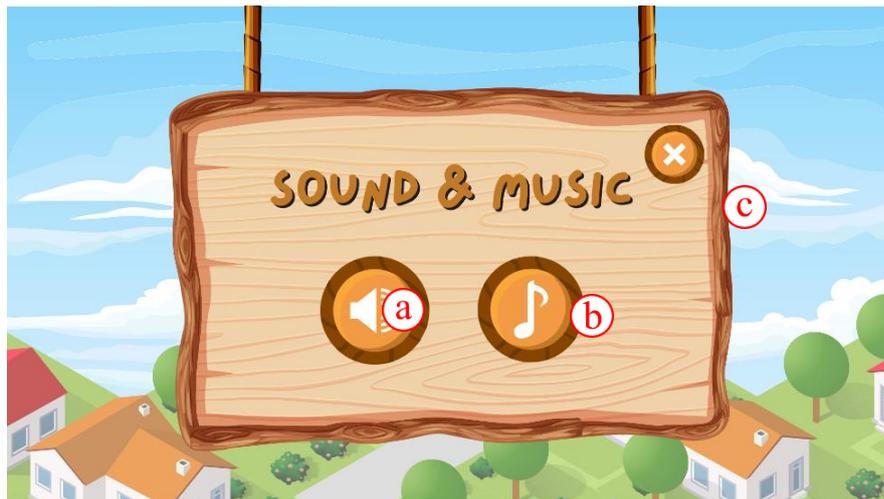


Gambar 3. 7 Tampilan awal *game*

Panel pertama yang muncul saat pemain memulai *game*, ditampilkan nama *game* “Urban Greener” dengan ilustrasi perumahan yang menggambarkan ide utama *game* yakni penghijauan perumahan sebagai

bentuk penanganan UHI. Ditampilkan beberapa tombol fungsional yaitu, (a) yang merupakan tombol pengaturan untuk pemain mengatur *sound effects* dan *music*. (b) tombol *power* untuk keluar dari *game*. (c) tombol *play* untuk memulai *game*.

## 2. Menu Pengaturan



Gambar 3. 8 Menu Pengaturan

Panel pengaturan tempat pemain dapat mengatur *sound effects* dan *music*. Tombol (a) untuk menyalakan atau mematikan *sound effects* sedangkan tombol (b) untuk *music*. Terdapat tombol (c) *quit* untuk keluar dari tombol pengaturan.

### 3. Tampilan Awal Perumahan



Gambar 3. 9 Tampilan Awal Perumahan

Ketika pemain menekan tombol ‘*Start*’ panel setelahnya adalah Peta awal perumahan dengan kondisi *Urban Heat Island* (UHI) yang belum teratasi, seperti suhu yang masih tinggi, tanah yang gersang, bangunan padat, dan sedikit area hijau.

Minimap (a) digunakan untuk membantu pemain dalam menjalankan misi pertama dalam *game* yaitu mencari NPC. Sedangkan (b) merupakan panel yang menjelaskan misi yang harus dilakukan *player*. Panel (c) menunjukkan suhu awal yang masih tinggi, disesuaikan dengan suhu rata-rata kota Malang yakni 31°C celcius, berdasarkan data yang tersedia dengan suhu rata-rata siang hari di Kota Malang pada tahun 2024 berkisar antara 25°C hingga 31°C. Sebagai contoh, pada 5 November 2024, suhu siang hari tercatat mencapai 31°C Selain itu, pada 30 September 2024, suhu siang hari mencapai puncaknya pada 31°C (Malang, 2024).

#### 4. Panel Tantangan



Gambar 3. 10 Panel Challenge

Pada panel (a) ini NPC memberikan tantangan kepada pemain terkait bagaimana karakteristik pohon yang diinginkan. Tombol (b) digunakan untuk masuk ke panel *slider*.

#### 5. Slider Kriteria



Gambar 3. 11 Slider Kriteria

Panel yang memungkinkan pemain menyesuaikan kriteria vegetasi, seperti prioritas pengurangan suhu yang dibutuhkan, laju evapotranspirasi, efisiensi biaya,

dan estetik. Tombol (a) merupakan tombol untuk membuka panel instruksi. Panel (b) adalah tampilan *slider* kriteria dan tombol (c) adalah *next* untuk menyimpan bobot dari *slider*.

#### 6. Panel Hasil Perangkingan



Gambar 3. 12 Panel Perangkingan

(a) Panel yang menunjukkan hasil akhir dari perhitungan TOPSIS berdasarkan bobot yang dimasukkan pemain. Pemain dapat memilih satu dari tiga pohon terbaik melalui tombol (b).

## 7. Skenario Perumahan dengan Vegetasi



Gambar 3. 13 Perumahan dengan Vegetasi

Peta perumahan yang telah ditambahkan vegetasi pilihan pemain. Pemain dapat melihat perbedaan visual seperti peningkatan area hijau dan pengurangan efek UHI. Tombol (a) Informasi untuk menampilkan informasi terkait deskripsi pohon yang dipilih pemain. Panel suhu (b) dengan suhu lebih rendah sesuai dengan kemampuan penurunan suhu pohon terpilih, mengindikasikan efek UHI yang sudah menurun karena diterapkannya salah satu skenario vegetasi pada perumahan. Tombol (c) digunakan untuk pemain untuk melihat koleksi Kartu Pohon yang sudah terbuka. Tombol (c) selesai digunakan untuk kembali ke *Main Menu*.

## 8. Panel Koleksi Kartu



Gambar 3. 14 *Game Selesai*

Grid Layout (a) menampilkan koleksi pohon yang berhasil didapatkan pemain, tombol (b) Kembali digunakan untuk kembali ke skenario vegetasi sebelumnya, tombol (c) untuk masuk ke Panel Tantangan agar pemain dapat mengumpulkan kartu pohon lainnya.

### 3.2 Rancangan Perhitungan TOPSIS

Langkah awal dalam perhitungan ini adalah menghitung matriks keputusan yang telah dinormalisasi. Selanjutnya, matriks keputusan ternormalisasi terbobot dihitung dengan mempertimbangkan bobot dari kriteria masukan pengguna. Mencari solusi ideal positif (A+) dan solusi ideal negatif (A-) diperlukan untuk langkah ketiga. Langkah selanjutnya adalah menghitung jarak antara setiap pilihan dengan solusi ideal positif (A+) dan solusi ideal negatif (A-). Menemukan nilai preferensi setiap opsi dan mengurutkannya dari yang terendah hingga tertinggi adalah langkah terakhir. Pilihan terbaik akan ditentukan dengan memberikan nilai tertinggi pada setiap alternatif.

### 3.2.1 Alternatif

Data alternatif mengacu pada jenis vegetasi yang sedang dievaluasi dalam suatu proses pengambilan keputusan. Pada kasus ini Ketapang Kencana, Tabebuia, Pohon, Pule, Tanjung, Kamboja, Sengon, Beringin, Kersen, Akasia, Pohon Flamboyan.

### 3.2.2 Kriteria

Dalam penelitian ini, metode TOPSIS digunakan untuk memutuskan jenis vegetasi dengan memperhatikan kriteria pada tabel 3.1 ditunjukkan macam macam kriterianya.

Tabel 3. 1 Kriteria

<b>Simbol</b>	<b>Kriteria</b>
C1	Penurunan Suhu
C2	Laju Evapotranspirasi
C3	Efisiensi Biaya
C4	Estetika

Setelah data kriteria dikumpulkan, maka pembobotan dilakukan menggunakan metode ROC (*Receiver Operating Characteristic*). Perhitungan pembobotan kriteria menggunakan metode ROC dapat dilakukan untuk menentukan bobot relatif dari kriteria dalam sebuah sistem pengambilan keputusan. Sehingga diperoleh data bobot pada tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Perhitungan Pembobotan

<b>Simbol</b>	<b>Kriteria</b>	<b>Proses Metode ROC</b>	<b>Hasil</b>
C1	Penurunan Suhu	$(1+1/2+1/3+1/4)/4$	0.520833333
C2	Laju Evapotranspirasi	$(1/2+1/3+1/4)/4$	0.270833333
C3	Efisiensi Biaya	$(1/3+1/4)/4$	0.145833333
C4	Estetika	$(1/4)/4$	0.0625

Tabel 3.2 menunjukkan kriteria penelitian. Ada empat kriteria yang digunakan, terdiri dari atas Penurunan Suhu dengan kode kriteria C1, Laju Evapotranspirasi dengan kode kriteria C2, Efisiensi biaya dengan kode kriteria C3, Estetika dengan kode kriteria C4,

Kepentingan kriteria yang menjadi input bagi user ditunjukkan pada tabel 3.3 tersebut dapat menunjukkan sub kriteria dan skala penilaian dari setiap kriteria yang sudah ditentukan.

Tabel 3. 3 Ketentuan Nilai Kriteria

Kriteria	Sub Kriteria	Nilai
Penurunan Suhu	1 C<	1
	1-2 C	2
	2-3 C	3
	3-4 C	4
	>4 C	5
Laju Evapotranspirasi	50 mm/tahun<	1
	50-100 mm/tahun	2
	100-200 mm/tahun	3
	200-300 mm/tahun	4
	>300 mm/tahun	5
Efisiensi Biaya	>Rp 10.000.000/m	1
	Rp 7.500.000-10.000.000/m	2
	Rp 5.000.000-7.500.000/m	3
	Rp 2.500.000-5.000.000/m	4
	<Rp 2.500.000/m	5
Estetika	Sangat Kurang Menarik	1
	Kurang Menarik	2
	Cukup Menarik	3
	Menarik	4
	Sangat Menarik	5

Penentuan jenis vegetasi. Kriteria ini melibatkan faktor-faktor penting yang memengaruhi, seperti Penurunan Suhu yang diinginkan, Laju evapotranspirasi, Efisiensi biaya implementasi dan pemeliharaan, estetika . Untuk setiap kriteria, ada subkriteria yang lebih detail, dan setiap subkriteria memiliki skala penilaian yang digunakan untuk mengukur tingkat pengaruhnya dalam menentukan jenis vegetasi.

### 3.2.3 Matriks Keputusan

Berdasarkan skala penilaian tingkat kepentingan tiap kriteria, maka dapat ditentukan matriks keputusan untuk setiap alternatif; matriks ini menilai setiap alternatif berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan, dan kemudian menilainya

dengan skala penilaian tertentu. Berikut pada tabel 3.4 merupakan matriks keputusan tiap alternatif vegetasi pohon dalam *game*.

Tabel 3. 4 Matriks Keputusan

A\C	C1	C2	C3	C4
A1	2	2	4	2
A2	3	3	3	5
A3	3	4	2	3
A4	3	4	3	2
A5	2	3	2	4
A6	5	3	2	2
A7	3	5	3	2
A8	2	3	5	1
A9	3	3	1	4
A10	2	3	2	5
<b>Value Maximum</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>

### 3.2.4 Normalisasi Matriks Keputusan

Setelah nilai matriks keputusan diperoleh, rumus (2.2) digunakan untuk menghitung nilai normalisasi matriks keputusan. Nilai normalisasi ditampilkan dalam tabel 3.5.

Tabel 3. 5 Normalisasi matriks keputusan

A\C	C1	C2	C3	C4
A1	0.215665546	0.186500962	0.433860916	0.19245009
A2	0.32349832	0.279751442	0.325395687	0.481125224
A3	0.32349832	0.373001923	0.216930458	0.288675135
A4	0.32349832	0.373001923	0.325395687	0.19245009
A5	0.215665546	0.279751442	0.216930458	0.384900179
A6	0.539163866	0.279751442	0.216930458	0.19245009
A7	0.32349832	0.466252404	0.325395687	0.19245009
A8	0.215665546	0.279751442	0.542326145	0.096225045
A9	0.32349832	0.279751442	0.108465229	0.384900179
A10	0.215665546	0.279751442	0.216930458	0.481125224

### 3.2.5 Normalisasi Terbobot

Rumus (2.3) menunjukkan cara menghitung peringkat bobot ternormalisasi dengan mengalikan hasil normalisasi dengan bobot yang telah ditetapkan, menghasilkan hasil yang ditunjukkan pada tabel 3.5.

Selain itu, tabel 3.6 dan matriks di bawah ini menampilkan hasil keseluruhan dari perhitungan bobot ternormalisasi sebagai berikut.

Tabel 3. 6 Normalisasi terbobot metode TOPSIS

A\C	C1	C2	C3	C4
A1	0.112325805	0.050510677	0.063271383	0.012028131
A2	0.168488708	0.075766016	0.047453538	0.030070327
A3	0.168488708	0.101021354	0.031635692	0.018042196
A4	0.168488708	0.101021354	0.047453538	0.012028131
A5	0.112325805	0.075766016	0.031635692	0.024056261
A6	0.280814513	0.075766016	0.031635692	0.012028131
A7	0.168488708	0.126276693	0.047453538	0.012028131
A8	0.112325805	0.075766016	0.079089229	0.006014065
A9	0.168488708	0.075766016	0.015817846	0.024056261
A10	0.112325805	0.075766016	0.031635692	0.030070327

### 3.2.6 Solusi Ideal Positif dan Negatif

Nilai solusi ideal positif dan negatif untuk setiap kriteria, yang berasal dari nilai normalisasi tertimbang maksimum dan minimum, ditampilkan pada Tabel 3.7

Tabel 3. 7 Normalisasi terbobot metode TOPSIS

A/C	C1	C2	C3	C4
A+	0.280814513	0.126276693	0.079089229	0.030070327
A-	0.112325805	0.050510677	0.015817846	0.006014065

### 3.2.7 Menghitung Nilai Pemisah

Tingkat alternatif antara solusi negatif dan positif yang ideal berfungsi sebagai pemisah. Seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.8, nilai pemisah positif dilambangkan dengan S+, dan nilai pemisah negatif diwakili oleh S-.

Tabel 3. 8 Nilai Pemisah

	S(+)	S(-)
A1	0.186291865	0.047833118
A2	0.127158295	0.073291367
A3	0.125105687	0.078105572
A4	0.120752874	0.082113252
A5	0.182284888	0.034836148
A6	0.071614856	0.171209375
A7	0.118082278	0.099658149
A8	0.177534439	0.06812562
A9	0.138592395	0.06416872
A10	0.182185651	0.038298043

### 3.2.8 Koefisien Terdekat

Mencari koefisien kedekatan (CCi). Nilai CCi dan jarak dengan solusi akhir akan menentukan alternatif terbaik menggunakan rumus 2.8. Dan hasil dapat dilihat pada tabel 3.9

Tabel 3. 9 Nilai Koefisien Terdekat

Kode Alternatif	Nama Alternatif	Value	Rangking
A1	Ketapang Kencana	0.204305912	8
A2	Tabebuia	0.365634774	5
A8	Pohon Pule	0.384356518	4
A4	Tanjung	0.404765712	3
A5	Kamboja	0.160445752	10
A6	Sengon	0.705075332	1
A7	Beringin	0.457692449	2
A9	Kersen	0.277316631	7
A3	Akasia	0.316474487	6
A10	Pohon Flamboyan	0.173700114	9

### 3.2.9 Rencana Pengujian Sistem

Uji coba ini dilakukan melalui beberapa tahapan penerapan metode TOPSIS, yang melibatkan partisipasi masyarakat perumahan dalam memainkan *game* vegetasi pohon. Data dari aktivitas bermain mereka dikumpulkan untuk dianalisis menggunakan *Game User Experience Satisfaction Scale-18* (GUESS-18), yang terdiri dari 9 aspek. Namun, karena *game* tersebut tidak memiliki fitur yang mendukung interaksi antar pemain, terdapat satu aspek pada GUESS-18 yaitu *Social Connectivity* mengacu pada interaksi sosial antar pemain di dalam *game* yang tidak akan digunakan

Penghapusan satu aspek tersebut menghasilkan 8 aspek yang dapat dilihat pada Tabel 3.10. Penelitian ini kemudian mengukur delapan aspek yang terdapat dalam GUESS-18.

Tabel 3. 10 Pernyataan adaptasi dari GUESS-18

Aspek	Kode	Pernyataan
<i>Usability/Playability</i>	U1	<i>I find the controls of the game to be straightforward</i>
	U2	<i>I find the game's interface to be easy to navigate</i>
<i>Narratives</i>	N1	<i>I am captivated by the game's story from the beginning</i>
	N2	<i>I enjoy the fantasy or story provided by the game</i>
<i>Play Engrossment</i>	PE1	<i>I feel detached from the outside world while playing the game</i>
	PE2	<i>I do not care to check events that are happening in the real world during the game</i>
<i>Enjoyment</i>	E1	<i>I think the game is fun</i>
	E2	<i>I feel bored while playing the games (REVERSE CODE)</i>
<i>Creative Freedom</i>	CF1	<i>I feel the game allows me to be imaginative</i>
	CF2	<i>I feel creative while playing the game</i>
<i>Audio Aesthetic</i>	AA1	<i>I enjoy the sound effects in the game</i>
	AA2	<i>I feel the game's audio (e.g., sound effects, music) enhances my gaming experience</i>
<i>Personal Gratification</i>	PG1	<i>I am very focused on my own performance while playing the game</i>
	PG2	<i>I want to do as well as possible during the game</i>
<i>Visual Aesthetic</i>	VA1	<i>I enjoy the game's graphics</i>
	VA2	<i>I think the game is visually appealing</i>

Pada pengujian ini, hanya delapan aspek yang digunakan, sehingga skor minimal GUESS-18 adalah 8 dan skor maksimalnya adalah 56. Semakin mendekati nilai maksimal, semakin tinggi tingkat kepuasan pemain terhadap *game* tersebut.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Implementasi Sistem

Dalam *game* yang menggunakan metode TOPSIS, pemain diberikan kebebasan untuk menentukan bobot pada setiap kriteria yang berpengaruh terhadap optimalisasi pengurangan *Urban Heat Island* (UHI) melalui vegetasi. Metode TOPSIS kemudian digunakan untuk menganalisis dan mengevaluasi berbagai alternatif pohon berdasarkan bobot yang telah ditetapkan oleh pemain. Dengan membandingkan nilai setiap pohon terhadap solusi ideal positif dan negatif, sistem dapat menentukan alternatif pohon terbaik yang paling sesuai dengan preferensi pemain. Hasil pemilihan ini memungkinkan pemain untuk secara strategis menanam pohon yang memiliki dampak paling efektif dalam mengurangi efek UHI, menciptakan pengalaman simulasi yang interaktif dan berbasis data.

##### 1. Inisialisasi Matriks Keputusan

Langkah pertama dalam metode TOPSIS adalah menginisialisasi matriks keputusan. Pada *Pseudocode* 4.1, daftar alternatif dibuat menggunakan struktur data *List* yang berisi nama alternatif dan daftar nilai kriteria.

##### *Pseudocode* 4.1 Inisialisasi Matriks Keputusan

Buat daftar alternatif pohon: - Nama: "Ketapang Kencana", Kriteria: [2, 2, 4, 2] - Nama: "Pohon Tabebuia", Kriteria: [3, 3, 3, 5] - Nama: "Pohon Pule", Kriteria: [3, 4, 2, 3] - Nama: "Pohon Tanjung", Kriteria: [3, 4, 3, 2] - Nama: "Pohon Kamboja", Kriteria: [2, 3, 2, 4] - Nama: "Pohon Sengon", Kriteria: [5, 3, 2, 2] - Nama: "Pohon Beringin", Kriteria: [3, 5, 3, 2] - Nama: "Pohon Kersen", Kriteria: [2, 3, 5, 1] - Nama: "Pohon Akasia", Kriteria: [3, 3, 1, 4] - Nama: "Pohon Flamboyan", Kriteria: [2, 3, 2, 5]
--

Setiap alternatif memiliki empat nilai yang mewakili kriteria tertentu (C1 hingga C4). Contohnya, alternatif "Ketapang Kencana" memiliki nilai {2, 2, 4, 2}, yang berarti masing-masing kriteria memiliki skor tersebut. Nilai ini kemudian dimasukkan ke dalam tabel keputusan (Tabel 4.1) dengan data berikut:

Tabel 4. 1 Matriks Keputusan

<b>Alternatif</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>
Ketapang Kencana	2	2	4	2
Tabebuia	3	3	3	5
Pohon Pule	3	4	2	3
Tanjung	3	4	3	2
Kamboja	2	3	2	4
Sengon	5	3	2	2
Beringin	3	5	3	2
Kersen	2	3	5	1
Akasia	3	3	1	4
Pohon Flamboyan	2	3	2	5
<b>Value Maximum</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>

Tabel ini menampilkan data awal yang akan digunakan untuk normalisasi pada tahap berikutnya.

## 2. Normalisasi Matriks Terbobot

Tahap ini bertujuan untuk menormalisasi nilai-nilai dalam matriks keputusan agar memiliki skala yang sebanding. *Pseudocode* 4.2 melakukan normalisasi dengan menghitung akar kuadrat dari jumlah kuadrat setiap elemen dalam kolom kriteria, kemudian membagi setiap elemen dengan hasil tersebut.

*Pseudocode* 4. 2 Normalisasi Matriks Keputusan

<p>Untuk setiap alternatif (baris ke-i) dalam daftar alternatif:          Tambahkan baris baru kosong ke dalam "matrix"</p> <p>Untuk setiap kriteria (kolom ke-j):          Hitung jumlah kuadrat dari semua nilai kriteria ke-j di seluruh alternatif  <math>sumSquares = \text{jumlah}(\text{nilai kriteria ke-j})^2</math> untuk semua alternatif )</p> <p>Hitung nilai normalisasi:  <math>normalizedValue = (\text{nilai kriteria ke-j pada alternatif ke-i}) / \sqrt{sumSquares}</math></p> <p>Kalikan nilai normalisasi dengan bobot kriteria ke-j  <math>weightedNormalizedValue = normalizedValue * \text{bobot}[j]</math></p> <p>Tambahkan <math>weightedNormalizedValue</math> ke baris ke-i dalam "matrix"</p> <p>Kembalikan "matrix"</p>
---

- $sumSquares$  menghitung jumlah kuadrat dari setiap nilai pada kolom kriteria tertentu.
- $normalizedValue$  adalah nilai yang diperoleh dengan membagi setiap elemen pada matriks keputusan dengan akar kuadrat dari  $sumSquares$ . Ini menghasilkan nilai normalisasi.
- Nilai normalisasi kemudian dikalikan dengan bobot untuk menghasilkan matriks terbobot.

Tabel 4. 2 Normalisasi Matriks Keputusan

A\C	C1	C2	C3	C4
A1	0.215665546	0.186500962	0.433860916	0.19245009
A2	0.32349832	0.279751442	0.325395687	0.481125224
A3	0.32349832	0.373001923	0.216930458	0.288675135
A4	0.32349832	0.373001923	0.325395687	0.19245009
A5	0.215665546	0.279751442	0.216930458	0.384900179
A6	0.539163866	0.279751442	0.216930458	0.19245009
A7	0.32349832	0.466252404	0.325395687	0.19245009
A8	0.215665546	0.279751442	0.542326145	0.096225045
A9	0.32349832	0.279751442	0.108465229	0.384900179
A10	0.215665546	0.279751442	0.216930458	0.481125224

Nilai yang diperoleh dikalikan dengan bobot kriteria untuk menghasilkan matriks normalisasi terbobot. Hasil akhirnya ditampilkan dalam Tabel 4.3 berikut:

Tabel 4. 3 Normalisasi Terbobot

A\C	C1	C2	C3	C4
A1	0.112325805	0.050510677	0.063271383	0.012028131
A2	0.168488708	0.075766016	0.047453538	0.030070327
A3	0.168488708	0.101021354	0.031635692	0.018042196
A4	0.168488708	0.101021354	0.047453538	0.012028131
A5	0.112325805	0.075766016	0.031635692	0.024056261
A6	0.280814513	0.075766016	0.031635692	0.012028131
A7	0.168488708	0.126276693	0.047453538	0.012028131
A8	0.112325805	0.075766016	0.079089229	0.006014065
A9	0.168488708	0.075766016	0.015817846	0.024056261
A10	0.112325805	0.075766016	0.031635692	0.030070327

Nilai pada tabel ini menunjukkan skor yang telah dinormalisasi dan dikalikan dengan bobot untuk setiap kriteria.

### 3. Solusi Ideal Positif dan Negatif

Pada tahap ini, *Pseudocode* 4.3 menghitung solusi ideal positif (A+) dan solusi ideal negatif (A-). Nilai positif ideal diambil dari nilai tertinggi pada setiap kriteria, sedangkan nilai negatif ideal diambil dari nilai terendah pada setiap kriteria.

*Pseudocode* 4. 3 Solusi Ideal Positif dan Negatif

<p>Fungsi CalculateIdealSolutions(matrix):          Buat daftar kosong "positiveIdeal"          Buat daftar kosong "negativeIdeal"</p> <p>Untuk setiap kolom ke-j (kriteria):          Cari nilai maksimum dari kolom j di semua baris → simpan ke "positiveIdeal"          Cari nilai minimum dari kolom j di semua baris → simpan ke "negativeIdeal"</p> <p>Kembalikan (positiveIdeal, negativeIdeal)</p>
---

- a. *positiveIdeal* menyimpan nilai terbesar pada setiap kriteria (solusi ideal positif).
- b. *negativeIdeal* menyimpan nilai terkecil pada setiap kriteria (solusi ideal negatif).
- c. Langkah ini penting untuk menentukan jarak setiap alternatif ke solusi ideal. Hasil perhitungan ini disajikan pada Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4. 4 Solusi Ideal Positif Ideal Negatif

A/C	C1	C2	C3	C4
A+	0.280814513	0.126276693	0.079089229	0.030070327
A-	0.112325805	0.050510677	0.015817846	0.006014065

#### 4. Perhitungan Jarak

Tahap ini menghitung jarak antara setiap alternatif dengan solusi ideal positif dan negatif. *Pseudocode* 4.4 menghitung jarak ini menggunakan rumus *Euclidean distance*.

##### *Pseudocode* 4. 4 Perhitungan Jarak

```

Fungsi CalculateDistances(matrix, idealSolution):
  Buat daftar kosong "distances"

  Untuk setiap baris (alternatif) dalam "matrix":
    Hitung jumlah kuadrat selisih antara setiap elemen baris dan nilai ideal pada posisi yang sama
    sum = jumlah dari ( (value - idealSolution[i])^2 ) untuk setiap kolom

    Ambil akar dari jumlah kuadrat tersebut (jarak Euclidean)
    distance = akar(sum)

    Tambahkan "distance" ke daftar "distances"

  Kembalikan "distances"

```

Hasil jarak tersebut disajikan dalam Tabel 4.5 berikut:

Tabel 4. 5 Perhitungan Jarak

Alternatif	S(+)	S(-)
A1	0.186291865	0.047833118
A2	0.127158295	0.073291367
A3	0.125105687	0.078105572
A4	0.120752874	0.082113252
A5	0.182284888	0.034836148
A6	0.071614856	0.171209375
A7	0.118082278	0.099658149
A8	0.177534439	0.06812562
A9	0.138592395	0.06416872
A10	0.182185651	0.038298043

- a. Metode ini menghitung jarak antara setiap baris pada matriks normalisasi terbobot dengan solusi ideal positif atau negatif.
- b. Jarak dihitung menggunakan rumus *Euclidean distance* untuk mengukur kedekatan nilai data.

## 5. Nilai Preferensi

*Pseudocode* 4.5 pada tahap ini menghitung nilai preferensi dengan membagi jarak terhadap solusi ideal negatif dengan total jarak dari solusi ideal positif dan negatif. Alternatif dengan nilai preferensi tertinggi dianggap sebagai pilihan terbaik.

### *Pseudocode* 4. 5 Nilai Preferensi

Fungsi CalculateTOPSIS:

1. Hitung matriks normalisasi tertimbang:  
normalizedMatrix = NormalizeMatrix()
2. Hitung solusi ideal positif dan negatif:  
(positiveIdeal, negativeIdeal) = CalculateIdealSolutions(normalizedMatrix)
3. Hitung jarak dari masing-masing alternatif ke solusi ideal:  
positiveDistances = CalculateDistances(normalizedMatrix, positiveIdeal)  
negativeDistances = CalculateDistances(normalizedMatrix, negativeIdeal)
4. Hitung skor preferensi untuk setiap alternatif:  
Buat daftar kosong bernama "scores"  
Untuk setiap indeks i dari 0 hingga jumlah alternatif:  
score = negativeDistances[i] / (negativeDistances[i] + positiveDistances[i])  
Tambahkan score ke dalam "scores"

5. Urutkan alternatif berdasarkan skor dari yang tertinggi:  
Gabungkan setiap alternatif dengan skor-nya dan indeks aslinya  
Urutkan data tersebut berdasarkan skor secara menurun → rankedAlternatives
6. Ambil 3 alternatif teratas:  
top3Indexes = indeks dari 3 alternatif dengan skor tertinggi
7. Buat teks hasil ranking:  
Inisialisasi rankingText sebagai string kosong  
Untuk setiap alternatif di rankedAlternatives:  
    Tambahkan baris teks: "urutan. nama\_alternatif (Score: skor)"
8. Tampilkan teks hasil ke panel hasil:  
Tampilkan rankingText pada UI  
Aktifkan panel hasil (hasilPanel)

- a. Nilai preferensi dihitung dengan membagi jarak ke solusi ideal negatif dengan total jarak ke solusi ideal positif dan negatif.
- b. Alternatif dengan nilai tertinggi memiliki preferensi terbaik sesuai metode TOPSIS.
- c. Hasilnya kemudian ditampilkan sebagai daftar ranking dengan skor masing-masing alternatif.

Hasil perhitungan nilai preferensi disajikan pada Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4. 6 Nilai Preferensi

Kode Alternatif	Nama Alternatif	Value	Rangking
A1	Ketapang Kencana	0.204305912	8
A2	Tabebuia	0.365634774	5
A8	Pohon Pule	0.384356518	4
A4	Tanjung	0.404765712	3
A5	Kamboja	0.160445752	10
A6	Sengon	0.705075332	1
A7	Beringin	0.457692449	2
A9	Kersen	0.277316631	7
A3	Akasia	0.316474487	6
A10	Pohon Flamboyan	0.173700114	9

Berdasarkan hasil ini, pohon Sengon menempati peringkat pertama dengan nilai preferensi tertinggi (0.7136), diikuti oleh pohon Beringin dan pohon Tanjung.

## 4.2 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan setelah kode diimplementasikan sepenuhnya. Pada tahap ini, *game* diuji dan hasil pengujian dipresentasikan. Pengujian dilakukan oleh pengguna untuk memastikan bahwa sistem berfungsi sebagaimana mestinya.

### 4.2.1 Uji Coba Hasil TOPSIS Pada *Game*

Pada tahap uji coba pemain diarahkan menuju panel *slider* untuk memasukkan bobot terhadap empat kriteria yaitu nilai Penurunan Suhu, Laju Evapotranspirasi, Efisiensi Biaya, dan Estetika dari pohon vegetasi yang dikehendaki. Bobot yang dimasukkan pemain tentunya akan mempengaruhi hasil perankingan sistem dalam menentukan alternatif terbaik.

Setelah menyesuaikan *slider* dan menekan tombol dengan fungsi submit, pemain akan diarahkan ke panel hasil yang menampilkan rangking alternatif dari yang terbaik hingga terburuk berdasarkan nilai bobot yang dimasukkan pemain. Kemudian pemain dapat memilih dari tiga rangking tertinggi untuk melihat skenario apabila pohon tersebut diterapkan di perumahan sebelumnya.

Pada uji coba Gambar 4.1, kriteria **C1** (Pengurangan Suhu) diberi nilai maksimal yaitu 5, sedangkan kriteria **C2**, **C3**, dan **C4** masing-masing diberi nilai 1. Dengan cara ini, hasil akhir akan lebih dipengaruhi oleh kriteria **C1**.



Gambar 4. 1 Uji Coba C1

Pada Gambar 4.2 Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pohon **Sengon** menempati peringkat pertama dengan nilai preferensi tertinggi, diikuti oleh pohon **Tabebuia** dan **Beringin**. Hal ini menunjukkan bahwa pohon-pohon tersebut memiliki keunggulan pada kriteria C1 dibandingkan alternatif lainnya sesuai dengan nilai matriks keputusan.



Gambar 4. 2 Hasil Uji Coba C1

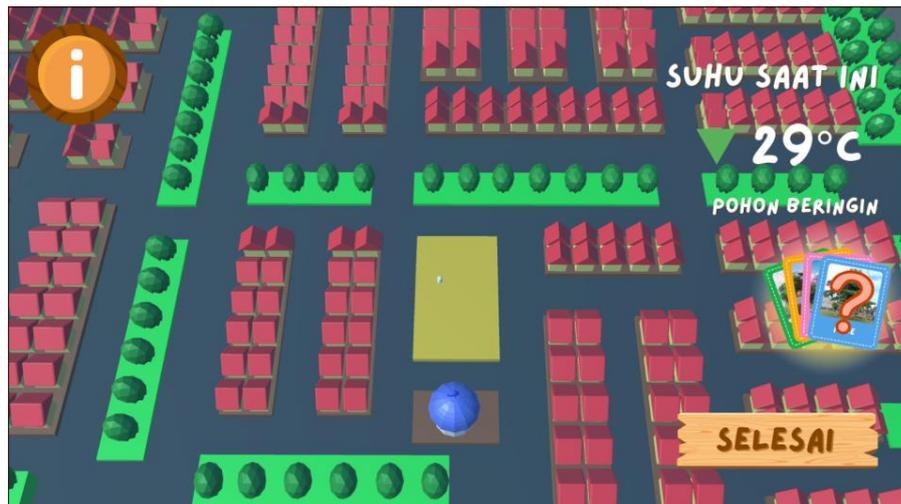
Pemain dapat memilih dari ketiga pohon dengan skor tertinggi, Berikut skenario dari ketiga pohon diatas.



Gambar 4. 3 Skenario Pohon Sengon



Gambar 4. 4 Skenario Pohon Tabebuia



Gambar 4. 5 Skenario Pohon Beringin

Pada uji coba kedua Gambar 4.6, kriteria C2 (Laju Evapotranspirasi) diberi nilai maksimal yaitu 5, sedangkan kriteria lainnya (C1, C3, dan C4) diberi nilai 1.



Gambar 4. 6 Uji Coba C2

Hasil perhitungan pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa pohon **Beringin** menempati peringkat pertama, diikuti oleh pohon **Pohon Tanjung** dan **Pule**. Ini menunjukkan bahwa hasil tersebut sesuai dengan matriks keputusan bahwa pohon-pohon tersebut unggul pada kriteria C2, memiliki kemampuan terbaik dalam mengatur kelembaban melalui proses evapotranspirasi.

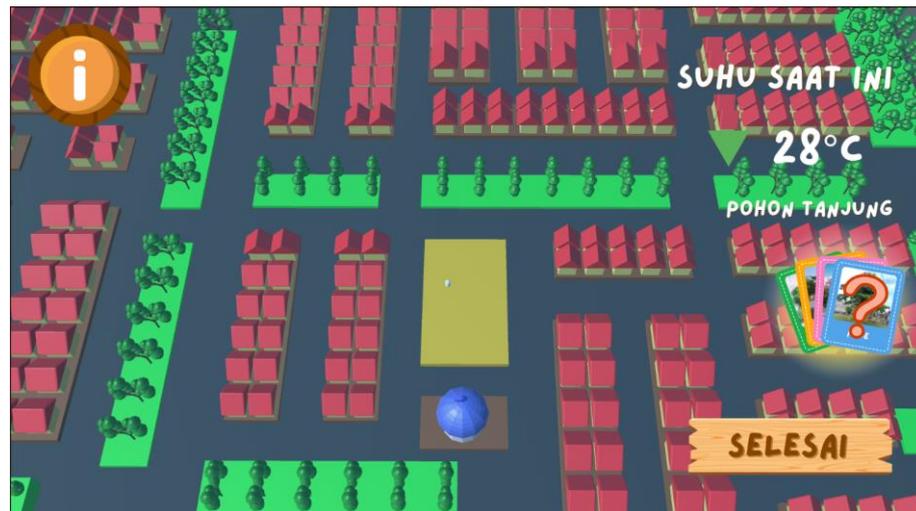


Gambar 4. 7 Hasil Uji Coba C2

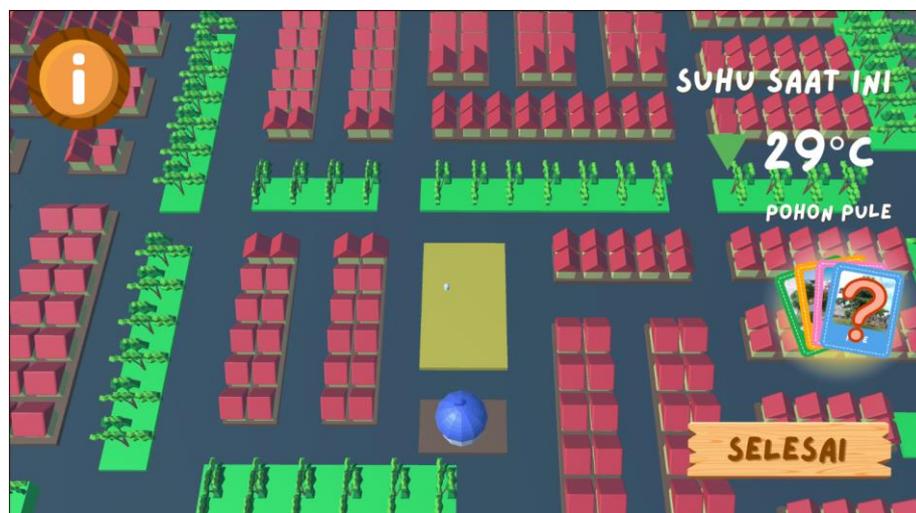
Pemain dapat memilih dari ketiga pohon dengan skor tertinggi, Berikut skenario dari ketiga pohon diatas.



Gambar 4. 8 Skenario Pohon Beringin



Gambar 4. 9 Skenario Pohon Tanjung



Gambar 4. 10 Skenario Pohon Pule

Pada uji coba ketiga Gambar 4. 11, kriteria **C3** (efisiensi biaya) akan diprioritaskan dengan diberi nilai maksimal 5, sedangkan kriteria lainnya diberi nilai 1.



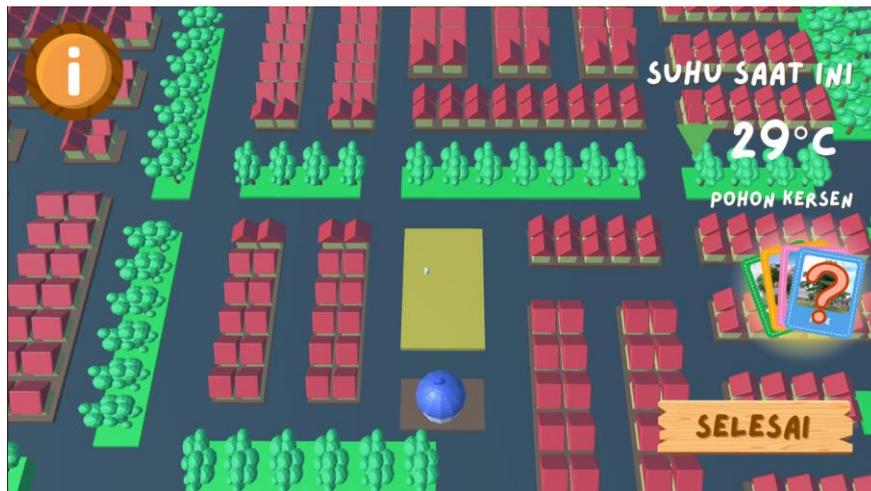
Gambar 4. 11 Uji Coba C3

Hasil perhitungan pada Gambar 4.12 menunjukkan bahwa pohon **Kersen** memiliki nilai preferensi tertinggi, diikuti oleh pohon **Ketapang Kencana** dan **Pohon Tabebuia**. Pendekatan ini akan menyoroti alternatif pohon yang memiliki biaya penanaman dan pemeliharaan paling efisien.



Gambar 4. 12 Hasil Uji Coba C3

Pemain dapat memilih dari ketiga pohon dengan skor tertinggi, Berikut skenario dari Pohon Kersen dan Pohon Ketapang Kencana.



Gambar 4. 13 Skenario Pohon Kersen



Gambar 4. 14 Skenario Pohon Ketapang Kencana

Pada uji coba ke empat Gambar 4.15, kriteria C4 (estetika) diberi nilai maksimal yaitu 5, sedangkan kriteria lainnya diberi nilai 1.



Gambar 4. 15 Uji Coba C4

Hasil perhitungan pada Gambar 4.16 menunjukkan bahwa pohon **Tabebuia** menempati peringkat pertama, diikuti oleh pohon **Kamboja** dan **Pohon Flamboyan**. Hal ini menunjukkan bahwa pohon-pohon tersebut memiliki keunggulan estetika yang lebih baik.



Gambar 4. 16 Hasil Uji Coba C4

Pemain dapat memilih dari ketiga pohon dengan skor tertinggi, Berikut skenario dari Pohon Kamboja dan Pohon Flamboyan



Gambar 4. 17 Skenario Pohon Kamboja



Gambar 4. 18 Skenario Pohon Flamboyan

Pada uji coba ke lima Gambar 4.19 , sama dengan uji coba ke empat namun kriteria C4 (estetika) diberi nilai maksimal yaitu 5, C1 (Pengurangan Suhu) ditingkatkan dari 1 menjadi 2 dan Kriteria lainnya tetap 1.



Gambar 4. 19 Uji Coba C5 Kedua

Hasil perhitungan pada Gambar 4.20 menunjukkan bahwa pohon **Tabebuia** menempati peringkat pertama, diikuti oleh pohon **Flamboyan** dan **Pohon Akasia**. Berbeda dengan Uji Coba Ke empat, Akasia naik menjadi peringkat ketiga menggeser Kamboja, dikarenakan Akasia memiliki Penurunan Suhu yang lebih baik.



Gambar 4. 20 Hasil Uji Coba C4 Kedua

Pemain dapat memilih dari ketiga pohon dengan skor tertinggi, Berikut skenario dari Pohon Akasia.



Gambar 4. 21 Skenario Pohon Akasia

Dari ke lima skenario uji coba tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode TOPSIS yang diterapkan dalam *game* ini telah berfungsi dengan baik dalam mengidentifikasi pohon yang memiliki keunggulan pada kriteria yang diberi prioritas. Hasil ini juga membuktikan bahwa metode TOPSIS mampu menyesuaikan hasilnya berdasarkan perubahan bobot pada kriteria tertentu, menunjukkan keandalan algoritma yang diterapkan sesuai dengan matriks keputusan pada Tabel 3. 4.

Pendekatan ini tidak hanya memastikan keakuratan hasil perhitungan, tetapi juga memberikan pemahaman yang lebih mendalam kepada pemain tentang bagaimana tiap jenis pohon memiliki keunggulan yang beragam sesuai dengan karakteristiknya.

## 4.2.2 Hasil Uji Coba

Tabel 4. 7 Hasil Uji Coba

C1	C2	C3	C4	Alternatif Terbaik	Nilai 1	Alternatif Terbaik 2	Nilai 2	Alternatif Terbaik 3	Nilai 3
5	1	1	1	Sengon	0.774 6196 5	Tabebuia	0.386 6483 83	Beringin	0.364 4593 64
5	2	1	1	Sengon	0.740 4431 6	Beringin	0.416 7167 69	Tabebuia	0.383 2024 98
5	3	2	2	Sengon	0.617 0851 9	Beringin	0.459 8026 99	Tabebuia	0.453 9198 95
5	4	3	3	Sengon	0.533 0585	Beringin	0.483 6474 72	Tanjung	0.425 1543 52
5	5	4	4	Tabebuia	0.533 1094 6	Beringin	0.496 0623 41	Sengon	0.474 2150 67
1	5	1	1	Beringin	0.771 8396 3	Tanjung	0.606 6052 2	Pule	0.601 9031 57
2	5	1	1	Beringin	0.718 3938 5	Tanjung	0.574 4039 7	Pule	0.570 6159 49
3	5	2	2	Beringin	0.609 2938	Tanjung	0.504 4470 19	Pule	0.495 9769 58
4	5	3	3	Beringin	0.540 3135 9	Tabebuia	0.507 3284 06	Sengon	0.473 5223 14
5	5	5	4	Tabebuia	0.529 2201 8	Beringin	0.496 5228 01	Kersen	0.478 3223 79
1	1	5	1	Kersen	0.801 9383 6	Ketapang Kencana	0.685 2609 27	Tabebuia	0.508 3760 8
1	2	5	2	Kersen	0.704 2103	Ketapang Kencana	0.615 7609 31	Tabebuia	0.535 8520 54
2	3	5	3	Kersen	0.603 5054 7	Tabebuia	0.556 3316 58	Ketapang Kencana	0.528 8515 6
3	4	5	4	Tabebuia	0.570 3207 6	Kersen	0.528 0975 88	Beringin	0.488 9888 13
4	5	5	5	Tabebuia	0.579 1401	Beringin	0.484 9798 71	Pohon Flamboyan	0.473 9941 72

C1	C2	C3	C4	Alternatif Terbaik	Nilai 1	Alternatif Terbaik 2	Nilai 2	Alternatif Terbaik 3	Nilai 3
1	1	1	5	Tabebuia	0.844 2460 9	Flamboyan	0.795 7637 62	Kamboja	0.677 4773 4
1	2	1	5	Tabebuia	0.801 5689 2	Flamboyan	0.766 0791 62	Kamboja	0.656 8775 16
2	1	1	5	Tabebuia	0.790 3238 6	Flamboyan	0.720 7093 65	Akasia	0.646 2918 56
3	2	2	5	Tabebuia	0.632 6407 9	Flamboyan	0.534 8569 64	Akasia	0.470 1030 58
4	3	3	5	Tabebuia	0.632 6407 9	Flamboyan	0.534 8569 64	Akasia	0.470 1030 58
5	4	4	5	Tabebuia	0.584 3533 4	Flamboyan	0.476 4637 49	Sengon	0.461 1860 98
1	1	1	1	Tabebuia	0.564 4295 2	Beringin	0.476 1950 69	Pohon Flamboyan	0.453 2657 9
1	1	1	2	Tabebuia	0.693 9621 4	Flamboyan	0.612 5281 77	Kamboja	0.528 1645 69
1	1	1	3	Tabebuia	0.767 63	Flamboyan	0.701 4179 57	Kamboja	0.604 9176 84
1	1	1	4	Tabebuia	0.813 3647 6	Flamboyan	0.757 3902 11	Kamboja	0.649 7266 53
1	1	2	1	Kersen	0.619 3949 9	Ketapang Kencana	0.540 2967 84	Tabebuia	0.534 9723 96
1	1	2	2	Tabebuia	0.632 9018 3	Flamboyan	0.517 6441 61	Kersen	0.504 9565 01
1	1	2	3	Tabebuia	0.705 1708	Flamboyan	0.611 0181 94	Kamboja	0.527 5371 92
1	1	2	5	Tabebuia	0.792 0944 2	Flamboyan	0.720 9960 96	Kamboja	0.621 3414 07
1	1	3	1	Kersen	0.708 7384	Ketapang Kencana	0.616 5648 09	Tabebuia	0.519 9019 01
1	1	3	2	Kersen	0.603 9881 1	Tabebuia	0.588 9609 42	Ketapang Kencana	0.557 8075 37
2	1	1	1	Sengon	0.585 8751 4	Tabebuia	0.491 5692 72	Beringin	0.430 6827 62

C1	C2	C3	C4	Alternatif Terbaik	Nilai 1	Alternatif Terbaik 2	Nilai 2	Alternatif Terbaik 3	Nilai 3
2	1	1	2	Tabebuia	0.616 9375 7	Flamboyan	0.511 4754 4	Sengon	0.500 5535 61
2	1	1	3	Tabebuia	0.698 3355 7	Flamboyan	0.608 7395 84	Akasia	0.561 1686 85
2	2	1	1	Sengon	0.545 8714 3	Beringin	0.534 1033 34	Tabebuia	0.462 9042 57
2	3	1	1	Beringin	0.614 9593 1	Tanjung	0.506 5315 74	Sengon	0.503 8306 28
2	3	5	5	Tabebuia	0.633 4716 8	Flamboyan	0.523 4382 11	Kersen	0.509 4613 72
2	4	1	1	Beringin	0.674 1938 2	Tanjung	0.546 0825 11	Pule	0.541 2954 07
2	4	1	2	Beringin	0.609 7453	Pule	0.534 3864 89	Tabebuia	0.505 5220 6
3	1	1	1	Sengon	0.675 6041 1	Tabebuia	0.439 8423 62	Beringin	0.397 6339 74
3	5	1	1	Beringin	0.662 6100 5	Tanjung	0.536 9505 28	Pule	0.534 0236 03
3	5	4	1	Beringin	0.599 9955 5	Kersen	0.562 1142 02	Tanjung	0.520 6155 49
4	3	2	1	Sengon	0.597 6466 7	Beringin	0.508 5750 55	Tanjung	0.443 8107 18
5	5	1	2	Sengon	0.597 4319 2	Beringin	0.551 3910 68	Pule	0.473 3507 56
5	5	1	3	Sengon	0.565 7539	Beringin	0.524 1348 23	Tabebuia	0.487 9631 26
5	5	2	1	Sengon	0.591 6717	Beringin	0.566 2592 29	Tanjung	0.475 5194 26
5	5	3	1	Beringin	0.558 8760 6	Sengon	0.554 3444 33	Tanjung	0.478 8425 69
5	5	5	1	Beringin	0.543 4626 1	Kersen	0.537 8824 88	Tanjung	0.485 2461 68
5	5	5	5	Tabebuia	0.564 4295 2	Beringin	0.476 1950 69	Flamboyan	0.453 2657 9

Tabel 4.7 menunjukkan hasil dari empat skenario uji coba di mana masing-masing kriteria (C1: Penurunan Suhu, C2: Laju Evapotranspirasi, C3: Efisiensi Biaya, C4: Estetika) diberikan bobot tertinggi secara bergantian, sedangkan kriteria lainnya memiliki bobot 1. Kolom 'Alternatif Terbaik' menampilkan pohon yang memiliki skor tertinggi untuk setiap skenario, sementara kolom 'Nilai' adalah skor akhir hasil perhitungan TOPSIS.

Hasil uji coba menunjukkan bahwa pada skenario dengan bobot tertinggi pada kriteria Penurunan Suhu (C1), pohon Sengon secara konsisten menjadi alternatif terbaik dengan skor tertinggi mencapai 0.77. Hal ini mengindikasikan bahwa pohon Sengon memiliki kemampuan paling efektif dalam menurunkan suhu, menjadikannya pilihan ideal jika pemain ingin mengurangi efek *Urban Heat Island* (UHI) dalam *game*.

Sementara itu, pada skenario yang menonjolkan kriteria Laju Evapotranspirasi (C2), Pohon Beringin unggul dengan skor tertinggi sebesar 0.77. Ini menunjukkan bahwa Beringin memiliki kemampuan terbaik dalam meningkatkan proses pelepasan uap air ke atmosfer, yang berperan penting dalam menjaga kelembapan udara di lingkungan *game*.

Pada skenario yang menonjolkan kriteria Efisiensi Biaya (C3), pohon Kersen menjadi alternatif terbaik dengan skor tertinggi sebesar 0.7. Ini menandakan bahwa Kersen adalah pilihan paling ekonomis dengan biaya penanaman dan perawatan yang lebih rendah dibandingkan alternatif lainnya.

Terakhir, pada skenario dengan bobot tertinggi pada kriteria Estetika (C4), pohon *Tabebuia* muncul sebagai pilihan terbaik dengan skor tertinggi mencapai 0.84. Pohon ini menonjol karena daya tarik visualnya yang kuat, sehingga dapat meningkatkan keindahan lingkungan dalam *game*.

Dari hasil tersebut, terlihat bahwa setiap pohon memiliki keunggulan pada kriteria tertentu, memungkinkan pemain untuk menyesuaikan pilihan mereka sesuai dengan kebutuhan spesifik dalam permainan. Hal ini menciptakan pengalaman yang lebih strategis, di mana pemain harus mempertimbangkan aspek lingkungan yang ingin mereka optimalkan.

#### **4.2.3 Tanggapan Ahli Lingkungan**

Dalam sesi wawancara dan pengujian game terkait vegetasi, **Bapak Bayu Agung Prahardika, M.Sc**, selaku ahli lingkungan memberikan tanggapan bahwa konsep dan implementasi game ini sudah cukup relevan dengan kondisi nyata di lapangan. Menurut beliau, pendekatan penggunaan vegetasi sebagai upaya pengurangan Urban Heat Island (UHI) dalam game sudah sesuai dengan prinsip-prinsip ekologi yang berlaku.

Selanjutnya, Bapak Bayu memberikan saran untuk mengganti penggunaan tanaman akasia dalam game menjadi tanaman lokal yang lebih sesuai dengan lingkungan setempat. Hal ini dikarenakan tanaman akasia memiliki kecenderungan untuk menyerap seluruh nutrisi dari tanah secara intensif, sehingga dapat mengganggu keseimbangan ekosistem dan mengurangi keberlanjutan vegetasi di area tersebut.

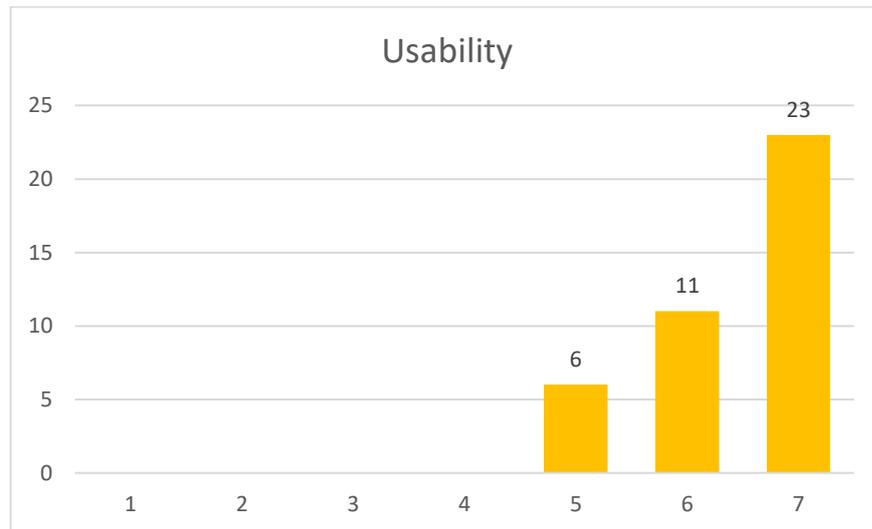
Saran ini akan menjadi bahan pertimbangan untuk pengembangan game selanjutnya, agar dapat lebih mencerminkan kondisi ekologis yang berkelanjutan dan sesuai dengan karakteristik tanaman lokal yang ada.

### **4.3 Pengujian *Usability Game***

Untuk mengukur pengalaman pengguna dalam memainkan *game* ini, dilakukan uji *usability* dengan menggunakan metode GUESS-18 (*Game User Experience Satisfaction Scale*). Metode ini merupakan pendekatan yang dirancang khusus untuk mengevaluasi pengalaman bermain *game* melalui berbagai aspek yang berpengaruh terhadap kepuasan pemain.

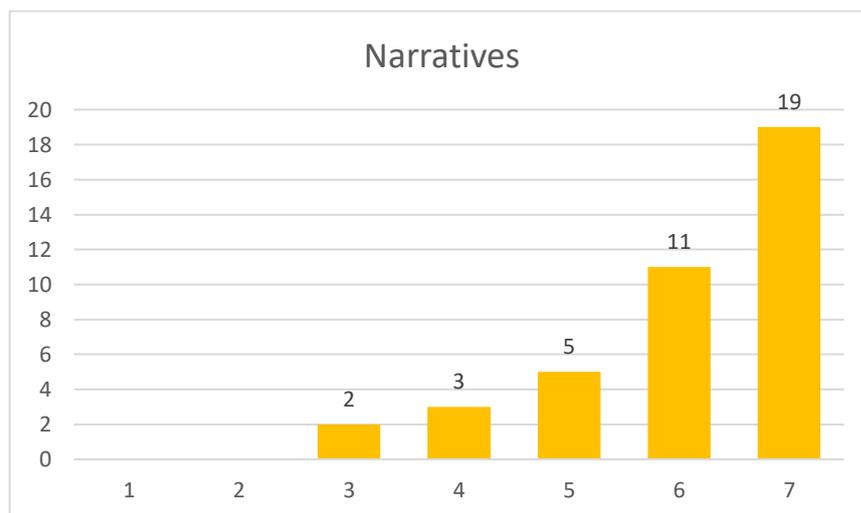
Dalam pengujian ini, terdapat 40 responden yang diminta untuk menilai pengalaman mereka berdasarkan tujuh aspek utama yang mencakup kemudahan navigasi, cerita atau skenario, keterlibatan saat bermain, kesenangan bermain, kebebasan berimajinasi, kualitas audio, dan kepuasan pribadi. Masing-masing aspek dinilai menggunakan skala *Likert* dengan rentang nilai 1 hingga 7, di mana nilai 1 menunjukkan penilaian paling rendah dan 7 menunjukkan penilaian paling tinggi.

Analisis terhadap hasil uji coba ini bertujuan untuk mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan *game* dari sudut pandang pengguna sehingga dapat menjadi dasar untuk perbaikan dan pengembangan lebih lanjut. Berikut adalah penjelasan mendetail mengenai hasil yang diperoleh dari setiap aspek yang diuji.



Gambar 4. 22 Grafik *Usability*

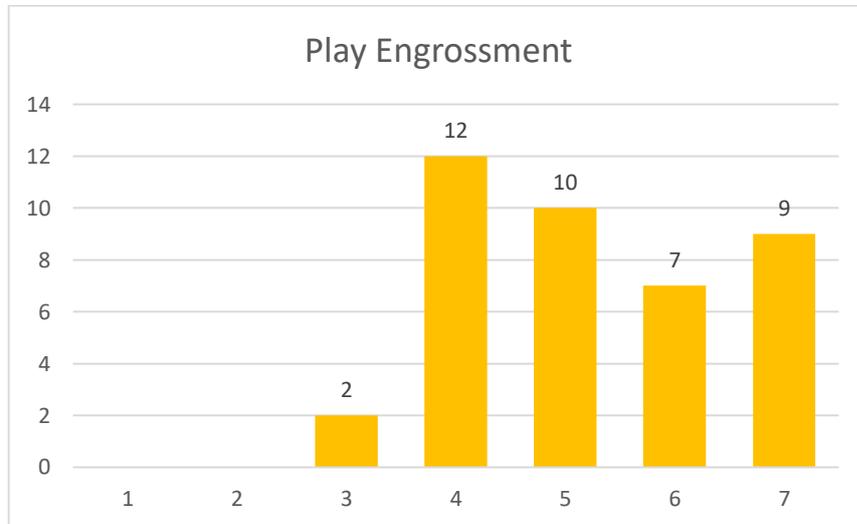
Pada Gambar 4. 22 sebanyak 40 responden memberikan skor tinggi (5,6,7) pada aspek kemudahan navigasi, menunjukkan bahwa mayoritas pemain merasa antarmuka *game* mudah digunakan dan navigasi di dalam *game* sudah intuitif.



Gambar 4. 23 Grafik *Narratives*

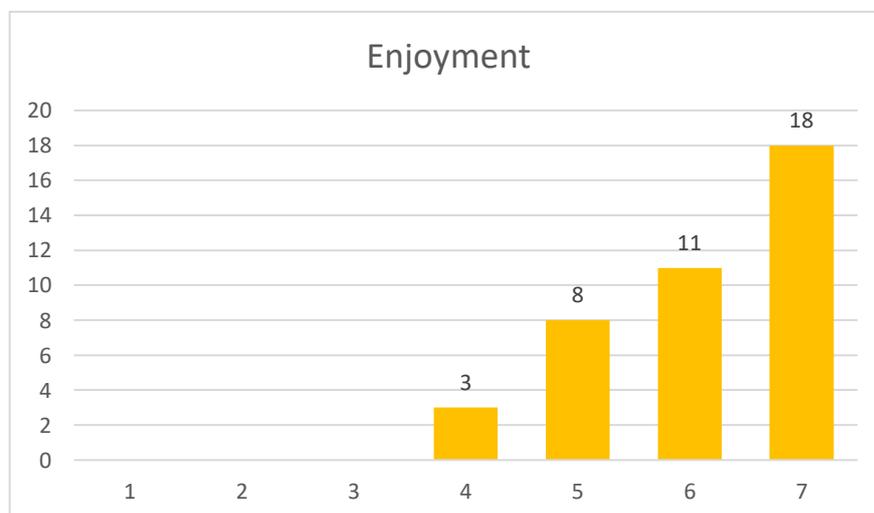
Pada Gambar 4. 23 sebanyak 35 dari 50 responden memberikan skor tinggi (5,6,7) pada aspek ini, menandakan bahwa mayoritas pemain menikmati cerita atau skenario yang disajikan dalam *game*. Namun, 5 responden memberikan skor yang

lebih rendah, yang menunjukkan bahwa sebagian kecil pemain merasa cerita kurang menarik atau kurang berkesan.



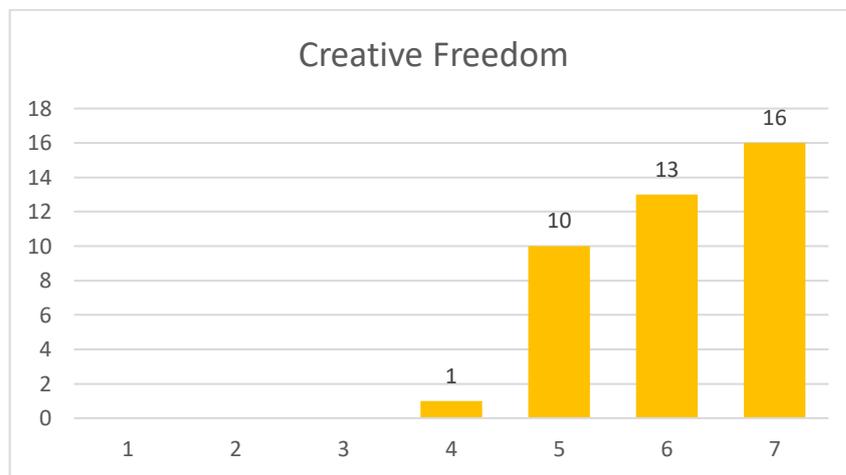
Gambar 4. 24 Grafik *Engrossment*

Pada Gambar 4. 24 Sebanyak 26 dari 40 responden memberikan skor tinggi (5,6,7) pada aspek ini, yang menunjukkan bahwa mereka merasa cukup terhangat dan fokus selama bermain. Namun, 14 responden memberikan skor lebih rendah (4 ke bawah), yang mengindikasikan bahwa sebagian pemain merasa kurang terlibat atau tidak benar-benar fokus selama bermain.



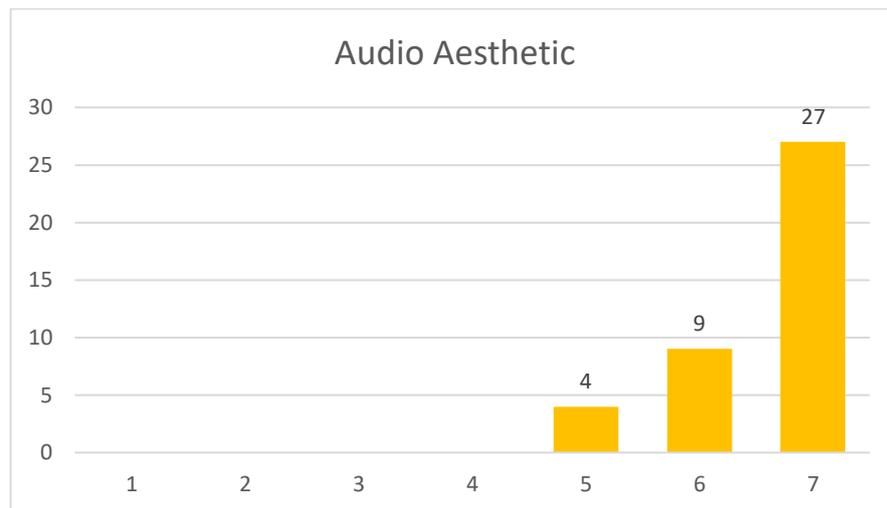
Gambar 4. 25 Grafik *Enjoyment*

Pada Gambar 4. 25 sebanyak 37 dari 40 responden memberikan skor tinggi (5,6,7) pada aspek ini, menandakan bahwa pengalaman bermain secara keseluruhan dianggap menyenangkan oleh mayoritas pemain. Sementara itu, 3 responden memberikan skor yang lebih rendah, yang mengindikasikan bahwa sebagian kecil pemain merasa permainan kurang menarik atau kurang menantang di beberapa bagian.



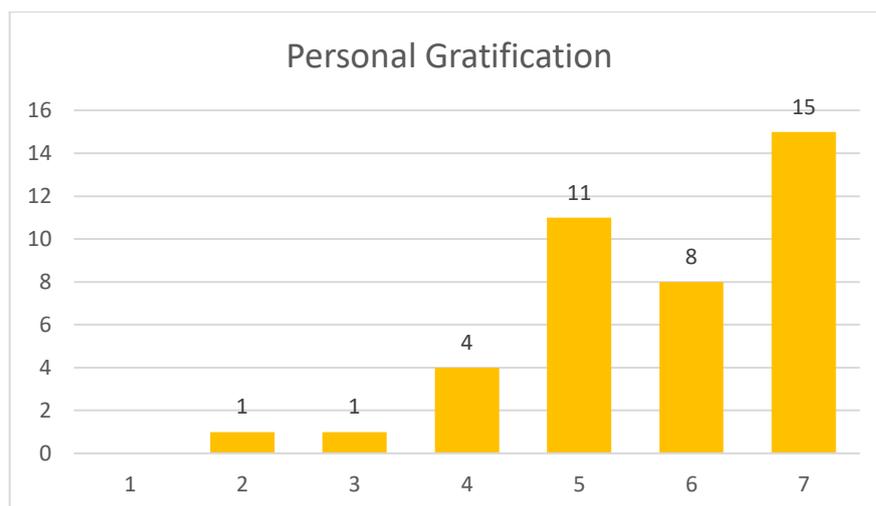
Gambar 4. 26 Grafik *Creative Freedom*

Pada Gambar 4. 13 sebanyak 39 dari 40 responden memberikan skor tinggi (5,6,7) pada aspek ini, yang menunjukkan bahwa *game* cukup memberikan ruang bagi pemain untuk berimajinasi. Namun, 1 responden memberikan skor lebih rendah (4 ke bawah), yang menandakan bahwa sebagian kecil pemain merasa aspek ini masih bisa ditingkatkan agar lebih mendorong kreativitas.



Gambar 4. 27 Grafik *Audio Aesthetic*

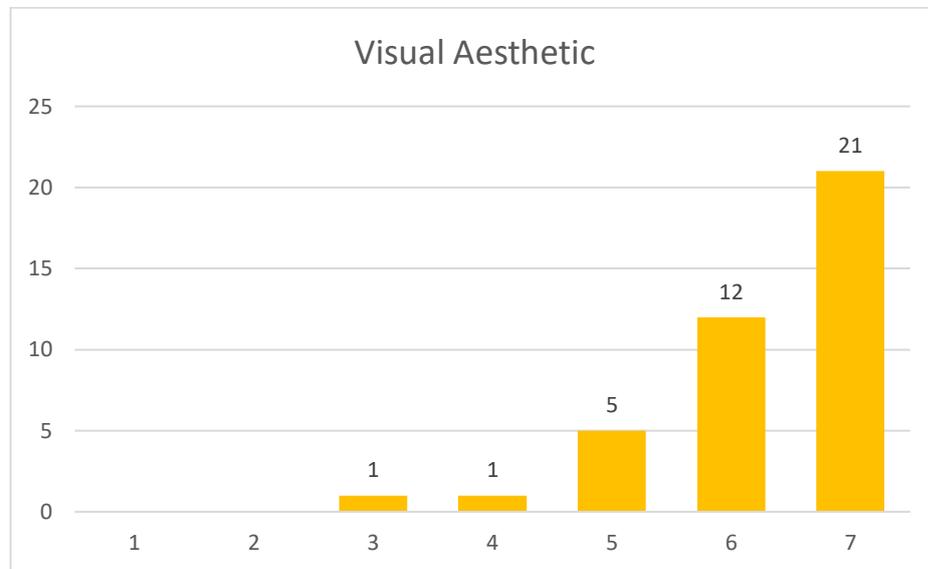
Pada Gambar 4. 14 sebanyak 40 responden memberikan skor tinggi (5,6,7) pada aspek ini, menunjukkan bahwa elemen audio seperti efek suara dan musik cukup mendukung pengalaman bermain secara keseluruhan.



Gambar 4. 28 Grafik *Personal Gratification*

Pada Gambar 4. 15 sebanyak 34 dari 40 responden memberikan skor tinggi (5,6,7) pada aspek ini, menunjukkan bahwa mayoritas pemain merasa puas dengan performa mereka selama bermain. Namun, 6 responden memberikan skor lebih rendah (4 ke bawah), yang menandakan bahwa sebagian kecil pemain mungkin

merasa kurang termotivasi atau tidak cukup puas dengan pencapaian mereka dalam *game*.



Gambar 4. 29 Grafik *Visual Aesthetic*

Pada Gambar 4. 16 Mayoritas responden sebanyak 38 responden memberikan nilai (5,6,7), menandakan bahwa tampilan visual *game* dianggap menarik oleh sebagian besar pemain. Hanya 2 responden yang memberikan skor rendah, menunjukkan bahwa aspek visual secara keseluruhan cukup memuaskan namun tetap memiliki ruang untuk perbaikan guna menarik perhatian lebih banyak pemain.

Hasil Pengujian ini memberikan gambaran bahwa *game* yang diuji memiliki keunggulan pada aspek navigasi, cerita, kesenangan, dan estetika visual, namun masih memerlukan peningkatan pada aspek keterlibatan pemain dan audio agar pengalaman bermain lebih maksimal. Analisis ini diharapkan dapat menjadi dasar untuk perbaikan dan pengembangan *game* ke depannya.

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian GUESS 18

No	Aspek	Rata-Rata	Standar Deviasi
1	<i>Usability</i>	6.4	0.74

No	Aspek	Rata-Rata	Standar Deviasi
2	<i>Narratives</i>	6.05	1.17
3	<i>Play Engrossment</i>	5.22	1.25
4	<i>Enjoyment</i>	6.1	0.98
5	<i>Creative Freedom</i>	6.1	0.87
6	<i>Audio Aesthetic</i>	6.58	0.67
7	<i>Personal Gratification</i>	5.7	1.28
8	<i>Visual Aesthetic</i>	6.27	0.96
<b>Skor Total</b>		<b>48.47</b>	
<b>Skor Rata-Rata</b>		<b>6.06</b>	<b>0.99</b>

Pada Tabel 4.5 berdasarkan pendekatan umum terhadap skala psikometrik seperti ini:

1. Skor 0-20 → Rendah (pengalaman pengguna buruk atau tidak memuaskan)
2. Skor 21-37 → Sedang (pengalaman pengguna cukup memuaskan tetapi dengan beberapa kekurangan)
3. Skor 38-56 → Tinggi (pengalaman pengguna baik hingga sangat memuaskan)

Dengan skor maksimum adalah 56, maka skor 48.47 masuk dalam kategori tinggi, yang mencerminkan pengalaman pengguna yang cukup baik hingga sangat memuaskan.

Aspek dengan skor tertinggi adalah *Visual Aesthetic* dengan nilai 6.27, menandakan bahwa elemen visual dalam *game* sangat diapresiasi oleh pemain. Desain visual yang menarik ini berperan penting dalam menarik perhatian pengguna sejak awal permainan dan meningkatkan pengalaman visual yang menyenangkan.

Aspek *Audio Aesthetic* juga mendapatkan skor tinggi sebesar 6.58, menandakan bahwa efek suara dan musik dalam *game* mampu memberikan dampak positif terhadap suasana permainan.

Sementara itu, aspek dengan skor terendah adalah *Play Engrossment* dengan nilai 5.22 dan standar deviasi cukup tinggi sebesar 1.25. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan dalam pendapat pemain terkait sejauh mana mereka merasa terlibat dan terbawa suasana selama bermain. Untuk meningkatkan aspek ini, bisa mempertimbangkan penambahan elemen yang lebih menarik seperti tantangan yang lebih menantang, alur cerita yang lebih mendalam, atau fitur interaktif yang lebih *engaging*.

Adapun aspek lain seperti *Narratives*, *Enjoyment*, dan *Creative Freedom* memperoleh skor di kisaran 6, menunjukkan bahwa *game* cukup mampu memberikan pengalaman bermain yang menyenangkan dan memberikan ruang bagi pemain untuk bereksplorasi serta mengekspresikan kreativitas mereka.

Secara keseluruhan, dengan skor rata-rata 6.06, *game* sudah menunjukkan kualitas yang baik. Fokus utama untuk pengembangan selanjutnya sebaiknya diarahkan pada peningkatan aspek *Play Engrossment* agar pemain dapat lebih larut dalam permainan. Penambahan elemen cerita yang lebih kuat, tantangan yang lebih menarik, atau mekanisme permainan yang lebih mendalam dapat menjadi solusi yang efektif.

#### **4.4 Integrasi Sains dalam Islam**

*Game* yang dikembangkan tidak hanya memiliki unsur edukatif yang berkaitan dengan pemilihan pohon untuk mengurangi *Urban Heat Island* (UHI),

tetapi juga dapat dikaitkan dengan konsep *muamalah* dalam Islam. Dalam ajaran Islam, *muamalah* mencakup tiga aspek penting, yaitu *muamalah ma'a Allah* (interaksi dengan Allah), *muamalah ma'a al-A'lam* (interaksi dengan alam), dan *muamalah ma'a al-Nas* (interaksi dengan sesama manusia). Setiap aspek ini memiliki keterkaitan yang relevan dengan konsep yang diterapkan dalam *game* ini.

Dalam aspek *muamalah ma'a Allah*, menjaga bumi merupakan bentuk ketaatan kepada Allah SWT sebagai Sang Pencipta. Allah telah menjadikan manusia sebagai khalifah (pemimpin) di muka bumi dengan tanggung jawab untuk merawat dan menjaga keseimbangan alam. Hal ini ditegaskan dalam firman Allah SWT:

...هُوَ أَنشَأَكُم مِّنَ الْأَرْضِ وَاسْتَعْمَرَكُمْ فِيهَا فَاسْتَغْفِرُوهُ ثُمَّ تُوبُوا إِلَيْهِ ۗ

“Dialah yang menciptakan kamu dari bumi (tanah) dan menjadikan kamu pemakmurnya...” (QS. Hud: 61)

Pemain dalam *game* ini diajak untuk memilih pohon yang mampu memberikan manfaat bagi lingkungan, yang mencerminkan upaya manusia dalam menjalankan tanggung jawabnya sebagai pemakmur bumi. Berdasarkan tafsir al-Qurtubī, ayat ini menunjukkan bahwa manusia diberi tanggung jawab sebagai khalifah untuk memakmurkan bumi dengan usaha yang bermanfaat dan menjaga kelestariannya, bukan merusaknya (al-Ṭabarī, n.d.; al-Qurtubī, 2006; Ibn Kathīr, 2000). Tindakan ini tidak hanya mencerminkan prinsip ilmiah tetapi juga merupakan bentuk ketaatan kepada perintah Allah.

Selain itu, *game* ini juga berkaitan dengan aspek *muamalah ma'a al-A'lam* yang menyoroti hubungan manusia dengan alam. Menjaga keseimbangan

lingkungan sangat ditekankan dalam Islam karena berpengaruh pada kelestarian bumi dan kehidupan manusia. Allah SWT berfirman:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ

*"Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan penuh harap (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik." (QS. Al-A'raf: 56)*

Dalam game ini, pemain tidak hanya diajarkan untuk memilih pohon terbaik, tetapi juga memahami dampak ekologis dari setiap pilihan tersebut. Berdasarkan tafsir Ibn Kathīr, ayat ini memperingatkan agar manusia tidak melakukan perusakan setelah Allah menciptakan bumi dalam keadaan baik dan seimbang. Menurut beliau, ini termasuk larangan merusak lingkungan, menumpahkan darah, dan menghancurkan tatanan sosial dan alam (Ibn Kathīr.,2000). Prinsip ini sejalan dengan tuntunan Islam agar menjaga keseimbangan dan menghindari kerusakan.

Lebih lanjut, dalam sebuah hadis, Rasulullah SAW bersabda Rasulullah SAW juga bersabda:

عَنْ أَنَسٍ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُ عَنِ النَّبِيِّ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ قَالَ : ، ، إِنَّ قَامَتِ لِسَاعَةٌ وَفِي يَدِ أَحَدِكُمْ فَسِيلَةٌ . فَإِنْ اسْتَطَاعَ أَنْ لَا تَقُومَ حَتَّى يَغْرُسَهَا

*"Jika terjadi kiamat sementara di tangan salah seorang dari kalian ada bibit pohon kurma, maka jika ia mampu menanamnya sebelum kiamat terjadi, hendaklah ia menanamnya." (HR. Ahmad)*

Hadis ini menegaskan bahwa menanam pohon adalah tindakan yang bernilai ibadah dan memiliki dampak positif, bahkan di tengah situasi yang tampak tidak menguntungkan. Berdasarkan tafsir para ulama, seperti Imam al-Nawawi, hadis ini

menunjukkan bahwa setiap manfaat yang dihasilkan dari pohon tersebut—baik dimakan manusia, hewan, atau burung—akan dicatat sebagai sedekah bagi penanamnya. Ini termasuk dalam kategori *sedekah jariyah*, yaitu amal yang terus mengalir pahalanya selama manfaatnya masih dirasakan (al-Nawawī, n.d.)

Dalam pandangan Imam Ibn Hajar al-Asqalani, pohon yang ditanam juga mencerminkan kontribusi terhadap kemaslahatan umum, sehingga ia menjadi bentuk ibadah sosial yang berdampak luas.

Game ini mengadopsi konsep tersebut dengan mengajak pemain untuk berkontribusi dalam penghijauan secara simbolis melalui pemilihan pohon yang memberikan manfaat bagi lingkungan.

Melalui fitur pemilihan pohon yang berfokus pada kriteria seperti penurunan suhu, efisiensi biaya, dan estetika, *game* ini mengajak pemain untuk berpikir kritis dalam memilih solusi terbaik yang tidak hanya bermanfaat bagi lingkungan, tetapi juga sejalan dengan nilai-nilai Islam dalam menjaga bumi.

Selain aspek edukasi, *game* ini juga memiliki unsur hiburan yang sejalan dengan prinsip Islam. Allah SWT berfirman:

وَأَبْتَعْ فِيْمَا ءَاتَاكَ اللهُ الدَّارَ الْآخِرَةَ وَلَا تَنْسَ نَصِيْبَكَ مِنَ الدُّنْيَا وَأَحْسِنْ كَمَا أَحْسَنَ اللهُ إِلَيْكَ

*"Dan carilah pada apa yang telah dianugerahkan Allah kepadamu (kebahagiaan) negeri akhirat, dan janganlah kamu melupakan bagianmu dari (kenikmatan) duniawi dan berbuat baiklah (kepada orang lain) sebagaimana Allah telah berbuat baik kepadamu." (QS. Al-Qashash: 77)*

Ayat ini menegaskan bahwa Islam tidak melarang manusia untuk menikmati hiburan selama tetap menjaga keseimbangan dalam kehidupan. Berdasarkan tafsir *al-Ṭabarī*, ayat ini merupakan nasihat agar manusia memanfaatkan karunia duniawi

sebagai sarana untuk meraih kebaikan akhirat, namun tanpa melupakan haknya di dunia. Menurutnya, seseorang harus berbuat baik sebagaimana Allah berbuat baik kepadanya (al-Ṭabarī, n.d.). Dalam konteks game ini, pemain dapat merasakan kesenangan sekaligus mendapatkan edukasi yang bermanfaat, sehingga hiburan tetap bernilai positif.

Melalui fitur pemilihan pohon yang berfokus pada kriteria seperti penurunan suhu, efisiensi biaya, dan estetika, *game* ini mengajak pemain untuk berpikir kritis dalam memilih solusi terbaik yang tidak hanya bermanfaat bagi lingkungan, tetapi juga sejalan dengan nilai-nilai Islam dalam menjaga bumi.

Dengan demikian, *game* ini tidak hanya memberikan hiburan, tetapi juga berperan dalam memberikan edukasi tentang lingkungan sekaligus menanamkan nilai-nilai Islam melalui konsep *muamalah*. Pemain diajak untuk menjaga lingkungan sebagai bentuk ketaatan kepada Allah (*muamalah ma'a Allah*), memahami pentingnya kelestarian alam (*muamalah ma'a al-A'lam*), serta menikmati hiburan yang sehat dan bermanfaat (*muamalah ma'a al-Nas*). Dengan menggabungkan unsur edukasi dan hiburan yang berlandaskan nilai-nilai Islam, *game* ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang lebih luas bagi pemain, baik dari segi pengetahuan, pengalaman bermain, hingga penanaman karakter yang baik.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan *game Urban Greener* sebagai media simulasi dan edukasi mengenai fenomena *Urban Heat Island* serta mengevaluasi efektivitas vegetasi pohon dalam menurunkan suhu, dengan bantuan metode pengambilan keputusan multi-kriteria TOPSIS.

Hasil pengujian menggunakan metode TOPSIS dalam *game* menunjukkan bahwa metode ini dapat diterapkan secara efektif untuk membantu pemain dalam menentukan vegetasi yang paling optimal berdasarkan beberapa kriteria, seperti penurunan suhu, laju evapotranspirasi, efisiensi biaya, dan estetika. Dari hasil perhitungan perangkingan, Pohon Sengon memperoleh skor tertinggi sebesar 0.71, sehingga direkomendasikan sebagai vegetasi pohon terbaik dalam menurunkan dampak buruk UHI.

Selain itu, evaluasi terhadap pengalaman pengguna *Game Urban Greener* menggunakan skala GUESS-18 menghasilkan skor 47.84 dari total 56, yang termasuk dalam kategori tinggi. Ini menunjukkan bahwa *game* ini telah berhasil memberikan pengalaman bermain yang positif, interaktif, dan edukatif kepada pengguna. Dengan demikian, *Urban Greener* tidak hanya layak digunakan sebagai media hiburan, tetapi juga efektif sebagai alat pembelajaran dan penyadaran mengenai pentingnya vegetasi dalam penanganan isu lingkungan urban.

## 5.2 Saran

Setelah uji coba, peneliti menyadari bahwa penelitian ini masih memiliki kekurangan. Rekomendasi berikut diberikan untuk pengembangan *game* yang telah dibuat:

1. Memperluas variasi skenario simulasi dalam *game*, misalnya pengaruh jenis vegetasi di berbagai zona kota, kondisi musim panas ekstrem, atau kepadatan bangunan. Ini akan membuat pemain lebih memahami kompleksitas isu *Urban Heat Island* secara menyeluruh.
2. Menambahkan environment yang lebih real terhadap skenario pada *real life* dan bisa menambah aspek visual *aesthetic*.
3. Penilaian GUESS-18 sebaiknya dilakukan secara berkala dengan melibatkan lebih banyak responden dari berbagai latar belakang, agar pengembangan *game* selanjutnya dapat lebih tepat sasaran dan responsif terhadap kebutuhan pengguna.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aboelata, A. (2020). Vegetation in different street orientations of aspect ratio (H/W 1:1) to mitigate UHI and reduce buildings' energy in arid climate. *Building and Environment*, 172, 106712. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106712>
- Adam, M., Ab Ghafar, N., & Mustapha, T. (2016). An Investigation of the Significant Criteria of Vegetation Selection and Planting Arrangement in Designing Urban Nodes. *Journal of Design and Built Environment*, 16(2), 1–14. <https://doi.org/10.22452/jdbe.vol16no2.4>
- Al-Nawawī, Y. ibn S. (n.d.). *Sharḥ Ṣaḥīḥ Muslim* [Penjelasan Sahih Muslim]. Beirut: Dār Iḥyā' al-Turāth al-'Arabī.
- Al-Qurṭubī, M. A. (2006). *al-Jāmi' li-Aḥkām al-Qur'ān* [Tafsir al-Qurṭubī]. Beirut: Dār al-Kutub al-'Ilmiyyah.
- Al-Ṭabarī, A. J. M. ibn J. (n.d.). *Jāmi' al-Bayān fī Ta'wīl al-Qur'ān* [Tafsir at-Ṭabarī]. Beirut: Dār al-Fikr.
- Ambrosini, D., Galli, G., Mancini, B., Nardi, I., & Sfarra, S. (2014). Evaluating Mitigation Effects of Urban Heat Islands in a Historical Small Center with the ENVI-Met® Climate Model. *Sustainability*, 6(10), 7013–7029. <https://doi.org/10.3390/su6107013>
- Anindita, R., Martono, E., & Nurjani, E. (2023). Urban cooling island vs urban heat island, who is the winner? Study of the green spaces effect in coolingdown of urban heat in Kapanewon Depok, Sleman, Yogyakarta, Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 468, 10012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346810012>
- Ballinas, M., & Barradas, V. L. (2016). The Urban Tree as a Tool to Mitigate the Urban Heat Island in Mexico City: A Simple Phenomenological Model. *Journal of Environmental Quality*, 45(1), 157–166. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.01.0056>
- BMKG. (2024). *Cuaca di Kota Semakin Panas, BMKG Ajak Generasi Muda Mitigasi Urban Heat Island | BMKG*. BMKG | Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. <https://www.bmkg.go.id/press-release/?p=cuaca-di-kota-semakin-panas-bmkg-ajak-generasi-muda-mitigasi-urban-heat-island&tag=press-release&lang=ID>
- Chun, B., & Guldmann, J.-M. (2014). Spatial statistical analysis and simulation of the urban heat island in high-density central cities. *Landscape and Urban Planning*, 125, 76–88. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.016>

- Crisman, J. J., Keith, L., Sami, I., & Garfin, G. (2023). Designing *Chill City*: An interactive game supporting public learning about urban planning for extreme heat. *The Journal of Environmental Education*, 54(3), 225–239. <https://doi.org/10.1080/00958964.2023.2183173>
- Dahlan, E. N. (2016). Physical Characters of Trees And Their Effects on Micro-Climate (Case Study at Urban Forest and Green Open Space at Semarang City). *Forum Geografi*, 28(1). <https://doi.org/10.23917/forgeo.v28i1.440>
- Dissegna, M. A., Yin, T., Wei, S., Richards, D., & Grêt-Regamey, A. (2019). 3-D Reconstruction of an Urban Landscape to Assess the Influence of Vegetation in the Radiative Budget. *Forests*, 10(8), 700. <https://doi.org/10.3390/f10080700>
- Ferrini, F., Fini, A., Mori, J., & Gori, A. (2020). Role of Vegetation as a Mitigating Factor in the Urban Context. *Sustainability*, 12(10), 4247. <https://doi.org/10.3390/su1210424>
- Ibn Kathīr, I. U. (2000). *Tafsīr al-Qurʾān al-ʿAzīm* [Tafsir Ibn Kathīr]. Beirut: Dār al-Fikr.
- Ihsan, F., & Rosleine, D. (2020). Cooling effect to mitigate Urban Heat Island by *Pterocarpus indicus*, *Swietenia macrophylla* and *Samanea saman* In Bandung, West Java Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 528(1), 012057. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/528/1/012057>
- ITS News, 2024. (2024, June 26). ITS dan KLHK Ajak Generasi Muda Antisipasi Bahaya UHI. *ITS News*. <https://www.its.ac.id/news/2024/06/26/its-dan-klhk-ajak-generasi-muda-antisipasi-bahaya-uhi/>
- Keebler, J. R., Shelstad, W. J., Smith, D. C., Chaparro, B. S., & Phan, M. H. (2020). *Validation of the GUESS-18: A Short Version of the Game User Experience Satisfaction Scale (GUESS)*. 16(1).
- Kinanthi Wahyu Kusumaningrum, A. (2021). *Pengembangan ruang terbuka hijau berdasarkan fenomena urban heat island di Kota Malang = Green open space development based on urban heat island phenomenon in Malang City*. Universitas Indonesia Library; Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. <https://lib.ui.ac.id>
- Lin, S.-S., Shen, S.-L., Zhang, N., & Zhou, A. (2021). Method for lake eutrophication levels evaluation: TOPSIS-MCS. *MethodsX*, 8, 101311. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101311>
- Malang, K. (2024). *Ramalan Cuaca Malang Raya dan Kota Batu: 30 September 2024—Ini Malang Raya*.

- Mubarok, A. (2022). Kelestarian Lingkungan dalam Al-Qur'an: Analisis Pemikiran M. Quraish Shihab dalam Tafsir Al-Misbah. *Hikmah*, 19(2), 227–237. <https://doi.org/10.53802/hikmah.v19i2.174>
- Phan, M. H., Keebler, J. R., & Chaparro, B. S. (2016). The Development and Validation of the Game User Experience Satisfaction Scale (GUESS). *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 58(8), 1217–1247. <https://doi.org/10.1177/0018720816669646>
- Santamouris, M., Cartalis, C., Synnefa, A., & Kolokotsa, D. (2015). On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—A review. *Energy and Buildings*, 98, 119–124. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.052>
- Wang, Y., & Akbari, H. (2016). The effects of street tree planting on Urban Heat Island mitigation in Montreal. *Sustainable Cities and Society*, 27, 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.04.013>
- Wong, N. H., Tan, C. L., Kolokotsa, D. D., & Takebayashi, H. (2021). Greenery as a mitigation and adaptation strategy to urban heat. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(3), 166–181. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00129-5>
- Xu, W., Dong, Z., Ren, J., Wang, J., Zhou, Y., & Ma, K. (2017). A Vegetation Selection Model for Ecological Bank Protection Works based on Improved TOPSIS Method and Its Application. *MATEC Web of Conferences*, 139, 00224. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713900224>
- Yan, C., Guo, Q., Li, H., Li, L., & Qiu, G. Y. (2020). Quantifying the cooling effect of urban vegetation by mobile traverse method: A local-scale urban heat island study in a subtropical megacity. *Building and Environment*, 169, 106541. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106541>
- Yang, A.-S., Juan, Y.-H., Wen, C.-Y., & Chang, C.-J. (2017). Numerical simulation of cooling effect of vegetation enhancement in a subtropical urban park. *Applied Energy*, 192, 178–200. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.01.079>