

**PENENTUAN SKENARIO MITIGASI PADA GAME SIMULASI
MENGGUNAKAN METODE MOORA *RULE-BASED***

SKRIPSI

Oleh:
ADNAN MUHAMMAD TAUFIQULHAKIM
NIM. 210605110114



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

**PENENTUAN SKENARIO MITIGASI PADA *GAME SIMULASI*
MENGGUNAKAN METODE MOOR *RULE-BASED***

SKRIPSI

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

Oleh:
ADNAN MUHAMMAD TAUFIQULHAKIM
NIM. 210605110114

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

HALAMAN PERSETUJUAN

PENENTUAN SKENARIO MITIGASI PADA GAME SIMULASI MENGGUNAKAN METODE MOORA RULE BASED

SKRIPSI

Oleh :
ADNAN MUHAMMAD TAUFIQULHAKIM
NIM. 210605110114

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal: 18 November 2025

Pembimbing I,



Dr. Ir. Yunifa Miftachul Arif, S.ST., 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



Sugiyono, M.Kom
NIP. 19841010 201903 1 012

HALAMAN PENGESAHAN

PENENTUAN SKENARIO MITIGASI PADA GAME SIMULASI MENGGUNAKAN METODE MOORA RULE BASED

SKRIPSI

Oleh:
ADNAN MUHAMMAD TAUFIQULHAKIM
NIM. 210605110114

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Pengaji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)
Tanggal: 22 Desember 2025

Susunan Dewan Pengaji

Ketua Pengaji : Dr. Ir. Fresy Nugroho, M.T., IPM., ASEAN Eng
NIP. 19710722 201101 1 001

Anggota Pengaji I : Ahmad Fahmi Karami, M.Kom
NIP. 19870909 202012 1 001

Anggota Pengaji II : Dr. Ir. Yunifa Miftachul Arif, S.ST., M.T
NIP. 19830616 201101 1 004

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

(
(
(
Supriyono, M.Kom

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



Supriyono, M.Kom

NIP. 19841010 201903 1 012

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Adnan Muhammad Taufiqulhakim
NIM : 210605110114
Fakultas / Program Studi : Sains dan Teknologi / Teknik Informatika
Judul Skripsi : Penentuan Skenario Mitigasi Pada *Game Simulasi Menggunakan Metode Moora Rule-Based*

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

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

Malang, 22 Desember 2025
Yang membuat pernyataan,



Adnan Muhammad Taufiqulhakim
NIM. 210605110114

MOTTO

“Bila kaum muda yang telah belajar di sekolah dan menganggap dirinya terlalu tinggi dan pintar untuk melebur dengan masyarakat yang bekerja dengan cangkul dan hanya memiliki cita-cita yang sederhana, maka lebih baik pendidikan itu tidak diberikan sama sekali.”

(Tan Malaka)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur, penulis mempersembahkan karya ini kepada:

Ayah dan Mama

Atas doa, dukungan, dan kasih sayang yang tidak pernah henti.

Adik dan Kerabat

Atas dukungan dan doa yang selalu menyertai.

Dosen

Atas ilmu dan bimbingannya selama masa studi.

Teman

Yang selalu membersamai dalam setiap perjalanan studi.

Diri Sendiri

Yang telah berusaha dan bertahan hingga di titik ini.

KATA PENGANTAR

Segala Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia yang telah ia limpahkan. *Shalawat* serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad *Shallallah ‘alaihi wasallam*. Atas limpahan berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menuntaskan penelitian skripsi dengan judul “Penentuan Skenario Mitigasi Pada *Game* Simulasi Menggunakan Metode MOORA *Rule Based*”, sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan sarjana pada Program Studi Teknik Informatika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Dengan penuh rasa Syukur, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada seluruh pihak yang terlibat pada proses penyusunan skripsi ini. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si., selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Agus Mulyono, M.Kes., selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Bapak Supriyono, M.Kom., selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Bapak Dr. Ir. Yunifa Miftachul Arif, S.ST., M.T., selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan arahan, saran, serta nasihat kepada penulis selama proses penggerjaan skripsi.

5. Bapak Dr. M. Imamuddin Lc, MA., selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan, saran, serta nasihat kepada penulis selama proses pengerjaan skripsi.
6. Bapak Dr. Ir. Fresy Nugroho, S.T, M.T, IPM., ASEAN Eng., selaku ketua penguji serta Bapak Ahmad Fahmi Karami, M.Kom., selaku anggota penguji yang telah memberikan kritik serta saran kepada penulis sehingga dapat menuntaskan penelitian ini.
7. Seluruh dosen, staf administrasi, laboran, serta seluruh jajaran di Program Studi Teknik Informatika atas ilmu, dukungan, dan arahannya.
8. Saya ucapkan terima kasih kepada Ayah dan Ibu, yang selalu percaya dan mendukung proses tumbuh kembang dari penulis untuk selalu jadi pribadi yang lebih baik. Terima kasih karena selalu berjuang untuk mewujudkan cita-cita dan bersamai langkah anak pertamanya selama ini.
9. Tidak lupa kepada dua adik perempuan saya, Faiza dan Shaffa. Terima kasih atas segala perhatian dan pengertian kepada penulis. Semoga dengan adanya penelitian ini, dapat menjadi motivasi untuk melangkah lebih jauh dan lebih baik dari penulis.
10. Yuzema Mala Nazira, yang selalu ada di kala keadaan suka maupun duka. Pemicu semangat dalam menghadapi segala rintangan.
11. Serta saya ucapkan terima kasih kepada Salma Ainur Rohma, yang menjadi bagian penting dalam proses penelitian ini. Terima kasih atas segala bantuan dan kerjasama selama dalam proses pengerjaan skripsi ini.

12. Kepada teman-teman penghuni kanal Discord “UIN Maulana Maliki” yang telah menemani penulis selama 4 tahun lebih. Tempat berkeluh kesah dan bercanda ria. Terima kasih sudah menjadi rumah kedua.

Akhir kata, penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan pada penelitian ini. Maka, penulis berharap adanya kritik serta saran demi perbaikan di masa yang akan datang.

Malang, 22 Desember 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGAJUANii
HALAMAN PERSETUJUANiii
HALAMAN PENGESAHANiv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN.....	.v
MOTTOvi
HALAMAN PERSEMBAHANvii
KATA PENGANTARviii
DAFTAR ISI.....	.xi
DAFTAR GAMBAR.....	.xiii
DAFTAR TABEL.....	.xiv
ABSTRAKxv
ABSTRACTxvi
الملخص.....	.xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II STUDI PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terkait	7
2.2 <i>Urban Heat Island</i>	10
2.3 Suhu Udara.....	10
2.4 Kualitas Udara	11
2.5 Kenyamanan Termal.....	11
2.6 Mitigasi UHI	12
2.6.1 Skala Taman dan Vegetasi Koridor	13
2.6.2 Skala Tanaman Penutup Lahan.....	14
2.6.3 Albedo Vegetasi (Taman, Koridor, Penutup Lahan)	15
2.7 Metode MOORA <i>Rule-Based</i>	15
2.7.1 Metode MOORA	16
2.7.2 <i>Rule-Based System</i>	18
2.8 <i>Simulation Game</i>	19
BAB III METODE PENELITIAN.....	22
3.1 Analisis dan Perancangan Game.....	22
3.1.1 Analisis Game	22
3.1.2 Desain Penelitian	23
3.1.3 Perancangan <i>Simulation Game</i>	24
3.1.4 Perancangan Antarmuka <i>Game</i>	25
3.2 Pengumpulan Data	29
3.3 Rancangan Perhitungan Metode MOORA	30
3.3.1 Menentukan Matriks Keputusan.....	33
3.3.2 Matriks Normalisasi.....	34
3.3.3 Matriks Normalisasi Terbobot	36
3.3.4 Nilai Preferensi	39
3.3.5 Normalisasi Nilai Preferensi.....	40
3.4 Rancangan <i>Rule-Based System</i>	42

3.4.1	Basis Pengetahuan (<i>Knowledge Base</i>)	42
3.4.2	Mesin Inferensi (<i>Inference Engine</i>)	43
3.5	Desain Pengujian Sistem.....	43
3.5.1	Pengujian Developer.....	44
3.5.2	Pengujian Pengguna.....	45
3.5.3	Pengujian <i>Pre-Test</i> dan <i>Post-Test</i>	46
	BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	48
4.1	Implementasi Perhitungan Metode	48
4.1.1	Implementasi Perhitungan MOORA.....	48
4.1.2	Implementasi <i>Rule-Based System</i>	54
4.2	Pengujian Sistem.....	55
4.2.1	Uji Coba Hasil Pada Game	56
4.2.2	Hasil Pengujian Pada Developer.....	59
4.2.3	Hasil Pengujian Pengguna <i>System Usability Scale</i>	60
4.2.4	Hasil Pengujian <i>Pres Test</i> dan <i>Post Test</i>	63
4.2.5	<i>Review</i> Hasil Pengujian	64
4.3	Integrasi Sains dan Islam	65
4.3.1	<i>Muamalah Ma'a Allah</i>	65
4.3.2	<i>Muamalah Ma'a Al-A'lam</i>	66
4.3.3	<i>Muamalah Ma'a An-Nas</i>	67
	BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	69
5.1	Kesimpulan	69
5.2	Saran	70

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Desain Penelitian.....	24
Gambar 3. 2 Diagram Finite State Machine.....	25
Gambar 3. 3 Tampilan Main Menu.....	26
Gambar 3. 4 Tampilan Pemilihan Area.....	26
Gambar 3. 5 Tampilan Gameplay	27
Gambar 3. 6 Tampilan Opsi Tanaman	27
Gambar 3. 7 Perubahan Ekspresi NPC	28
Gambar 3. 8 Tampilan Misi Berhasil.....	29
Gambar 3. 9 Tampilan Misi Gagal.....	29
Gambar 4. 1 Pemilihan Area.....	56
Gambar 4. 2 Nilai Preferensi MOORA.....	56
Gambar 4. 3 Tampilan Instruksi	57
Gambar 4. 4 Keputusan skenario mitigasi	57
Gambar 4. 5 Pemilihan Tanaman.....	58
Gambar 4. 6 Misi Berhasil	58
Gambar 4. 7 Misi Gagal	59
Gambar 4. 8 Frekuensi Umur Responden	61
Gambar 4. 9 Skor SUS	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terkait	8
Tabel 3.1 Data Wilayah	30
Tabel 3. 2 Kriteria	32
Tabel 3. 3 Matriks Kawasan Perumahan.....	34
Tabel 3. 4 Matriks Keputusan Kawasan Permukiman	34
Tabel 3. 5 Matriks Normalisasi Kawasan Perumahan	35
Tabel 3. 6 Matriks Normalisasi Kawasan Permukiman.....	36
Tabel 3. 7 Normalisasi Terbobot Kawasan Perumahan	38
Tabel 3. 8 Normalisasi Terbobot Kawasan Permukiman	39
Tabel 3. 9 Nilai preferensi kawasan perumahan	40
Tabel 3. 10 Nilai preferensi kawasan permukiman.....	40
Tabel 3. 11 Aturan Rule-Based.....	41
Tabel 3. 12 Normalisasi nilai preferensi	41
Tabel 3. 13 Knowledge Base	42
Tabel 3. 14 Aturan Rule Based	43
Tabel 3. 15 Instrumen Pertanyaan untuk Developer	44
Tabel 3. 16 Kategori Kelayakan.....	45
Tabel 3. 17 Pertanyaan untuk Responden	45
Tabel 3. 18 Pertanyaan Pre-Test	46
Tabel 3. 19 Pertanyaan Post-Test.....	47
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Developer.....	59
Tabel 4. 2 Instrumen Pengujian SUS	60
Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan SUS	61
Tabel 4. 4 Kategori Penilaian.....	63
Tabel 4. 5 Data Tabulasi Pre-Test dan Post-Test.....	63

ABSTRAK

Taufiqulhakim, Adnan Muhammad. 2025. **Penentuan Skenario Mitigasi Pada Game Simulasi Menggunakan Metode MOORA Rule-Based**. 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: *Urban Heat Island, Game Simulasi, MOORA, Rule-Based System, Mitigasi*

Urbanisasi yang pesat di Kota Malang telah menyebabkan alih fungsi lahan yang signifikan, memicu fenomena Urban Heat Island (UHI) di mana suhu perkotaan menjadi lebih tinggi dibandingkan daerah sekitarnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan *simulation game* bernama "Malang Urban Heat" sebagai media edukasi dan simulasi mitigasi UHI dengan menerapkan Sistem Pendukung Keputusan (SPK). Metode yang digunakan adalah kombinasi *Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis* (MOORA) dan *Rule-Based System*. Metode MOORA digunakan untuk menghitung nilai preferensi berdasarkan 9 kriteria (suhu udara, kualitas udara, kenyamanan termal, dan parameter fisik area) pada 8 wilayah studi kasus yang terdiri dari kawasan *Organize* (terencana) dan *Organic* (tidak terencana). Hasil perhitungan preferensi kemudian diproses oleh *Rule-Based System* untuk menentukan skenario mitigasi yang paling tepat, yaitu Penutupan Lahan, Koridor, atau Taman. Hasil pengujian fungsionalitas dan konten oleh *developer* menunjukkan persentase 82,85% dengan kategori "Sangat Layak". Sementara itu, pengujian *usability* kepada pengguna menggunakan *System Usability Scale* (SUS) menghasilkan skor rata-rata 76,66 yang masuk dalam kategori "Good" dan grade scale C.

ABSTRACT

Taufiqulhakim, Adnan Muhammad. 2025. **Determination of Mitigation Scenarios in Simulation Games Using the MOORA Rule-Based Method.** Undergraduate Thesis. Informatics Engineering Study Program, Faculty of Science and Technology, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor: (I) Dr. Yunifa Miftachul Arif, M.T (II) Dr. M. Imamudin, Lc., MA.

Rapid urbanization in Malang City has caused significant land use change, triggering the Urban Heat Island (UHI) phenomenon, where urban temperatures are higher than surrounding areas. This study aims to develop a simulation game called “Malang Urban Heat” as an educational medium and UHI mitigation simulation by applying a Decision Support System (DSS). The methods used are a combination of Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis (MOORA) and Rule-Based System. The MOORA method is used to calculate preference values based on 9 criteria (air temperature, air quality, thermal comfort, and physical parameters of the area) in 8 case study areas consisting of Organized (planned) and Organic (unplanned) areas. The preference calculation results were then processed by the Rule-Based System to determine the most appropriate mitigation scenario, namely Land Cover, Corridor, or Park. Functionality and content testing by developers showed a percentage of 82.85% in the “Very Suitable” category. Meanwhile, usability testing with users using the System Usability Scale (SUS) resulted in an average score of 76.66, which falls into the “Good” category and a C grade scale.

Keywords: Urban Heat Island, Simulation Game, MOORA, Rule-Based System, Mitigation

الملخص

توفيق الحكيم، عدنان محمد. 2025. تحديد سيناريوهات التخفيف في ألعاب المحاكاة باستخدام طريقة قاعدة MOORA. رسالة جامعية. برنامج دراسة هندسة المعلوماتية، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية، مالانغ.

المشرف: (الأول) الدكتور يونيغا مفتاح العارف (الثاني) الدكتور محمد إمام الدين، ماجستير

الكلمات الرئيسية: جزيرة الحرارة الحضرية، ألعاب المحاكاة، MOORA، نظام قائم على القواعد، التخفيف

أدى التحضر السريع في مدينة مالانغ إلى تحويل كبير للأراضي، مما أدى إلى ظاهرة جزيرة الحرارة الحضرية (UHI) حيث تصبح درجات الحرارة الحضرية أعلى من المناطق المحيطة. يهدف هذا البحث إلى تطوير لعبة محاكاة تسمى "حرارة مالانغ الحضرية" كوسيلة محاكاة تعليمية وتحفيزية لـ UHI من خلال تطبيق نظام دعم القرار (SPK). الطريقة المستخدمة هي مزيج من التحسين متعدد الأهداف على أساس تحليل النسبة (MOORA) ونظام قائم على القواعد. تم استخدام طريقة MOORA لحساب قيم التفضيل بناءً على 9 معايير (درجة حرارة الهواء، جودة الهواء، الراحة الحرارية، والعلامات الفيزيائية للمنطقة) في 8 مناطق دراسة حالة تتكون من المناطق المنظمة (المخططة) والعضوية (غير المخططة). ثم يتم معالجة نتائج حساب التفضيل بواسطة النظام القائم على القواعد لتحديد السيناريو الأنسب للتخفيف، وهو إغلاق الأرض أو الممر أو الحديقة. تظهر نتائج اختبار الوظائف والمحظوظ من قبل المطورين نسبة 82.85٪ مع فئة "ممكن جدا". وفي الوقت نفسه، أسفر اختبار سهولة الاستخدام للمستخدمين باستخدام مقياس قابلية الاستخدام للنظام (SUS) عن متوسط درجة 76.66، وهو مدرج ضمن فئة "جيد" ومقياس الدرجة C.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkotaan adalah pusat dari berbagai aktivitas manusia, mulai dari ekonomi, sosial, hingga budaya. Pembangunan kota yang berkelanjutan membuat umat manusia menggantungkan masa depannya di sana. Dalam beberapa dekade terakhir, dunia telah mengalami urbanisasi dengan skala besar dan cepat (Furuya et al., 2023). Urbanisasi, yaitu perpindahan penduduk dari desa ke kota, merupakan fenomena yang terjadi di seluruh dunia dan diprediksi akan terus meningkat di masa mendatang. Badan Pusat Statistik (BPS) memperkirakan, bahwasanya 56,7% penduduk Indonesia tinggal di wilayah perkotaan pada 2020 dan diprediksi presentasi tersebut akan mengalami peningkatan menjadi 66,6% pada 2035 (BPS, 2020).

Urbanisasi membawa dampak lingkungan yang tidak bisa diabaikan. Salah satu dampak lingkungan terbesar yang dihasilkan oleh urbanisasi adalah fenomena *Urban Heat Island* (UHI). UHI terjadi ketika wilayah perkotaan mengalami peningkatan suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah sekitarnya. Hal ini disebabkan oleh konversi lahan menjadi bangunan beton dan aspal yang cenderung menyerap lebih banyak panas, penurunan area hijau serta aktivitas manusia yang padat, seperti transportasi dan industri, juga berkontribusi terhadap peningkatan suhu kota (Michel, 2020).

Fenomena UHI ini sangat terasa di kota-kota besar, salah satunya Kota Malang yang telah mengalami perubahan penggunaan lahan yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir, yang berkontribusi terhadap fenomena UHI. Sebuah studi yang menggunakan data penginderaan jauh dari citra satelit Sentinel-2 menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan hijau di wilayah perkotaan Malang selama periode 2016-2020 berdampak langsung pada peningkatan suhu perkotaan. Studi ini menemukan bahwa hilangnya lahan hijau secara signifikan meningkatkan suhu wilayah perkotaan, yang pada akhirnya memicu terjadinya UHI.

Pada hakikatnya, dampak perubahan iklim, seperti fenomena UHI, merupakan tantangan yang terus hadir dalam kehidupan perkotaan. Oleh karena itu, mitigasi terhadap suhu ekstrem sangat penting untuk dikelola dengan baik, baik sebelum, selama, maupun setelah terjadinya dampak tersebut, guna meminimalisir dampak negatif terhadap kesehatan masyarakat dan kualitas lingkungan. Hal ini sejalan dengan firman Allah Dalam Al-Qur'an Surah Ar Rum ayat 41 yang berbunyi:

ظَهَرَ الْقَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ إِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِئِذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

"Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan perbuatan tangan manusia. (Melalui hal itu) Allah membuat mereka merasakan Sebagian dari (akibat) perbuatan mereka agar mereka Kembali (ke jalan yang benar)." (QS. Ar-Rum: 41).

Berdasarkan ayat di atas, dijelaskan dalam tafsir Al-Wajiz bahwasanya telah tampak kerusakan di berbagai hal seperti kegersangan, kekeringan, kebakaran, banjir, penyakit, kegelisahan dan ditawan oleh musuh akibat kemaksiatan dan dosa manusia. Supaya Allah membuat mereka merasakan balasan dari sebagian

perbuatan mereka di dunia sebelum dihukum di akhirat dan supaya mereka bisa kembali dari kemaksiatan mereka dan bertaubat atas dosa-dosa (mereka) (*Tafsir Wajiz Jilid II*, 2016).

Menurut tafsir di atas, umat Islam dianjurkan untuk melakukan introspeksi dan pemberahan salah satunya mitigasi terhadap berbagai tantangan lingkungan, seperti fenomena UHI, agar tidak menghadapi risiko yang membahayakan dan sebagai bentuk rasa syukur dengan menjaga nikmat yang telah diberikan oleh Allah. Dengan demikian, masyarakat akan lebih siap dalam menghadapi dampak suhu ekstrem dan dapat mengurangi kesulitan serta dampak negatif lainnya.

Mitigasi *Urban Heat Island* (UHI) penting untuk mengurangi suhu tinggi di wilayah perkotaan yang disebabkan oleh padatnya bangunan dan berkurangnya vegetasi. Salah satu pendekatan mitigasi yang efektif adalah peningkatan ruang terbuka hijau, seperti taman kota, atap hijau, dan dinding hijau, yang dapat menurunkan suhu permukaan hingga 2-9°C dan mengurangi dampak UHI (Wong et al., 2021). Pendekatan ini harus disesuaikan dengan kondisi kota, terutama di area dengan urbanisasi tinggi. Studi di Toronto menunjukkan bahwa kombinasi vegetasi dan permukaan dingin, serta pemanfaatan air perkotaan, juga terbukti meningkatkan kenyamanan termal di lingkungan perkotaan dan memberikan efek pendinginan, khususnya di area dengan paparan sinar matahari tinggi (Wang et al., 2016).

Pengembangan Simulation game menjadi salah satu solusi inovatif. Malang Urban Heat adalah jenis permainan yang dirancang tidak hanya untuk hiburan, tetapi juga untuk tujuan edukatif dan memberikan simulasi dunia nyata. Dalam

konteks mitigasi UHI, Malang Urban Heat dapat memberikan pengalaman simulasi kepada pemain tentang bagaimana memilih strategi mitigasi yang tepat untuk mengurangi dampak UHI di lingkungan perkotaan.

Pengembangan *game* ini akan menggunakan Sistem Pendukung Keputusan (DSS) untuk menentukan strategi mitigasi yang paling sesuai dengan kondisi lingkungan. DSS dipilih karena kemampuannya dalam menangani pengambilan keputusan kompleks dan dinamis, mengintegrasikan data dan model prediktif untuk memberikan solusi berbasis analisis yang akurat. Urgensi penggunaan DSS didukung oleh penelitian Turban et al. (2018), yang menunjukkan bahwa DSS memanfaatkan *big data* dan algoritma cerdas untuk pengambilan keputusan yang lebih cepat dan efektif.

Untuk memperkuat proses pengambilan keputusan dalam *game* ini, metode MOORA memungkinkan evaluasi alternatif secara simultan dengan pembobotan yang memperhitungkan berbagai faktor relevan, seperti dampak lingkungan dan efektivitas mitigasi. Penelitian sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh Hafsari (2019) menunjukkan bahwa MOORA *Rule-Based* telah terbukti efektif dan efisien dalam pemberian rekomendasi penempatan program pengalaman lapangan (PPL). Dengan capaian nilai akurasi sebesar 78,33% yang diukur menggunakan pengujian *confusion matrix*. Sehingga metode sesuai untuk aplikasi lingkungan dinamis seperti mitigasi *Urban Heat Island* (UHI).

Implementasi sistem pendukung keputusan seperti MOORA Rule-Based dalam *game* ini bertujuan untuk menciptakan respons permainan yang adaptif. Dengan menyajikan skenario mitigasi yang bervariasi sesuai perhitungan sistem,

pemain dituntut untuk berpikir kritis dalam mengatasi masalah lingkungan. Interaksi inilah yang menjadi kunci untuk meningkatkan kualitas pengalaman bermain sekaligus memperdalam pemahaman pemain terhadap fenomena *Urban Heat Island*. Oleh karena itu, analisis mengenai peran metode ini dalam membentuk skenario permainan menjadi hal yang mendesak untuk diteliti.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya, rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pemilihan skenario mitigasi UHI yang akan dihadapi pemain pada *Game “Malang Urban Heat”* menggunakan metode MOORA *Rule-Based* dalam meningkatkan pengalaman bermain dan pengetahuan terkait UHI.

1.3 Batasan Masalah

Adapun pembatasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Mitigasi yang dipelajari terbatas pada strategi infrastruktur hijau.
2. Data dan simulasi *game* berbasis pada studi UHI dengan penggunaan penginderaan jauh dan data iklim Kota Malang antara tahun 2016-2020.
3. Mitigasi terbatas pada aspek yang dapat dikendalikan oleh manusia, tanpa melibatkan faktor alamiah atau fenomena yang tidak dapat dipengaruhi oleh aktivitas manusia.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari penelitian ini adalah menentukan pemilihan skenario mitigasi yang akan dihadapi pemain pada *Game “Malang Urban*

Heat” menggunakan metode MOORA *Rule-Based* dalam meningkatkan pengalaman bermain dan pengetahuan terkait UHI.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat sebagai berikut:

1. Bagi Pemerintah Kota Malang, penelitian ini dapat menjadi panduan dalam merencanakan dan menerapkan strategi mitigasi UHI yang efektif dan berkelanjutan
2. Bagi dunia akademik, penelitian ini menambah wawasan tentang penggunaan metode MOORA *Rule-Based* dalam pengambilan Keputusan mitigasi lingkungan, khususnya UHI.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Terdapat beberapa penelitian sebelumnya sebagai referensi dalam pelaksanaan penelitian ini, salah satu contohnya penelitian yang dilakukan oleh Wong et al. (2021) dengan judul “*Greener Mitigation and Adaptation Strategy for Urban Heat*”. Penelitian ini membahas strategi mitigasi dan adaptasi terhadap fenomena *urban heat island* (UHI) yang menyebabkan suhu perkotaan lebih tinggi dibandingkan daerah sekitarnya. Penggunaan infrastruktur hijau, seperti taman di tanah, atap hijau, dan dinding hijau, diidentifikasi sebagai solusi efektif untuk mengurangi suhu melalui mekanisme pendinginan seperti penyediaan naungan, evapotranspirasi, dan peningkatan albedo. Taman hijau di tanah dapat mengurangi suhu udara hingga rata-rata 2–9°C, sementara atap hijau dan dinding hijau dapat mengurangi suhu permukaan hingga sekitar 17°C. Efektivitas penghijauan dipengaruhi oleh iklim, ukuran dan bentuk taman, serta pemilihan dan penempatan tanaman.

Penelitian yang dilakukan oleh He (2019), menekankan beberapa faktor utama, seperti suhu permukaan, konsumsi energi bangunan, dan kualitas udara. Beberapa strategi mitigasi yang diterapkan dalam penelitian ini meliputi penggunaan atap hijau, fasad hijau, bahan bangunan reflektif, serta penambahan vegetasi di area perkotaan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan-pendekatan tersebut dapat secara signifikan menurunkan suhu

perkotaan, mengurangi konsumsi energi, serta meningkatkan kenyamanan termal dan kualitas udara.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Hafsari (2019), mengembangkan sistem berbasis metode MOORA dan *Rule-Based* untuk rekomendasi penempatan Program Pengalaman Lapangan (PPL). Sistem ini mengintegrasikan MOORA untuk melakukan perankingan mahasiswa dan sekolah secara terpisah berdasarkan kriteria masing-masing (seperti IPK dan nilai *micro teaching* untuk mahasiswa , serta akreditasi dan fasilitas untuk sekolah), yang kemudian digabungkan oleh konsep *rule-based* untuk menghasilkan rekomendasi akhir. Hasil utama penelitian ini adalah pencapaian nilai akurasi sistem sebesar 78,33% , yang diukur menggunakan pengujian *confusion matrix*. Capaian ini membuat sistem dinilai "baik" oleh panitia PPL.

Tabel 2.1 Penelitian Terkait

No	Judul	Metode	Objek Penelitian	Hasil
1	<i>Greenery Mitigation and Adaptation Strategy for Urban Heat</i> (Wong et al., 2021)	Kajian Literatur dan Tinjauan Sistematis	Objek dalam penelitian ini adalah strategi mitigasi efek pulau panas perkotaan melalui infrastruktur hijau mendinginkan lingkungan perkotaan	Penelitian ini menunjukkan bahwa infrastruktur hijau seperti taman, atap hijau, dan dinding hijau efektif mengurangi efek UHI dengan menurunkan suhu permukaan sebesar 2-9°C; atap hijau mengurangi suhu hingga ~17°C. melalui naungan, evapotranspirasi, dan peningkatan albedo. Efektivitas pendinginan bergantung pada faktor seperti ukuran taman, pemilihan tanaman, dan penempatannya, yang perlu dioptimalkan dalam perencanaan kota.

No	Judul	Metode	Objek Penelitian	Hasil
2	<i>Towards the next generation of green building for urban heat island mitigation: Zero UHI impact building</i> (He, 2019)	Analisis literatur dan tinjauan terhadap teknik-teknik mitigasi	Penerapan sistem bangunan hijau berbasis mitigasi pulau panas perkotaan (GB- based UHIM) untuk mengurangi dampak suhu tinggi terhadap lingkungan sekitar melalui desain dan teknik mitigasi yang tepat.	Permukaan dingin dan vegetasi mengurangi suhu permukaan dan meningkatkan kenyamanan termal.
3	<i>A big picture of urban heat island mitigation strategies and recommendation for India</i> (Khare et al., 2021)	Tinjauan literatur dan analisis strategi mitigasi	Objek penelitian ini adalah strategi mitigasi <i>Urban Heat Island</i> (UHI) untuk mengurangi suhu perkotaan, dengan fokus pada atap reflektif, atap hijau, vegetasi, badan air, pavemen dingin, dan parkir tertutup, terutama di India.	Penelitian ini mengintegrasikan model matematika dengan algoritma Newton yang divalidasi menggunakan data dari taman atap hijau di New Delhi. Hasilnya menunjukkan bahwa atap hijau dapat menurunkan suhu dalam ruangan hingga 5,1°C ketika digabungkan dengan peneduhan termal, menjadikannya sangat efektif untuk mitigasi UHI di wilayah dengan iklim panas.
4	<i>Sistem Rekomendasi Penempatan Program Pengalaman Lapangan (PPL) Menggunakan Metode MOORA Berdasarkan Rule-Based</i> (Hafsari, 2019)	<i>Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis</i> (MOORA) dan <i>Rule-Based</i>	Proses penempatan mahasiswa untuk Program Pengalaman Lapangan (PPL) di Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, UIN Sultan Syarif Kasim Riau	Penelitian ini berhasil membangun sistem rekomendasi PPL menggunakan metode MOORA dan Rule-Based. Sistem ini mencapai akurasi 78,33% , dinilai "baik" oleh panitia PPL , dan terbukti menjadikan proses penempatan mahasiswa lebih efektif serta efisien.
5	<i>Penerapan Metode Rule Based System Untuk Menentukan Jenis Tanaman Pertanian Berdasarkan Ketinggian Dan Curah Hujan</i>	<i>Rule Based System</i> (RBS)	Penentuan jenis tanaman pertanian yang optimal dengan studi kasus di Kabupaten Tegal. Parameter utama yang digunakan adalah ketinggian tempat dan curah hujan.	Sistem website yang dikembangkan terbukti efektif dan memiliki tingkat keberhasilan yang memuaskan dalam memberikan rekomendasi tanaman sesuai kondisi lingkungan. Meskipun

No	Judul	Metode	Objek Penelitian	Hasil
	(Supratman et al., 2024)			begitu, ditemukan beberapa kasus ketidaksesuaian, yang menunjukkan perlunya penyempurnaan aturan lebih lanjut untuk meningkatkan akurasi

2.2 *Urban Heat Island*

Urban Heat Island (UHI) adalah fenomena di mana daerah perkotaan memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan daerah sekitarnya akibat aktivitas manusia dan perubahan lingkungan. Menurut Michel (2020), UHI dipicu oleh konversi lahan hijau menjadi bangunan yang menyerap lebih banyak panas. Studi lain oleh Knorr et al. (2018) juga menyoroti bahwa dampak UHI tidak hanya terbatas pada peningkatan suhu tetapi juga mempengaruhi kesehatan masyarakat dan kualitas udara di wilayah perkotaan (Knorr et al., 2018).

Wang et al. (2016) menambahkan bahwa peningkatan suhu ini menyebabkan peningkatan konsumsi energi untuk pendinginan bangunan, terutama pada malam hari. UHI juga berkontribusi terhadap perubahan pola cuaca lokal, sehingga strategi mitigasi yang lebih efektif sangat diperlukan untuk menanggulangi dampaknya (Wang et al., 2016).

2.3 Suhu Udara

Suhu udara merupakan salah satu indikator utama dalam memahami fenomena *Urban Heat Island* (UHI). Fenomena ini terjadi ketika suhu udara di wilayah perkotaan secara konsisten lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah sekitarnya, terutama pada malam hari. Penyebab utama peningkatan suhu udara

adalah penggunaan material buatan seperti beton dan aspal yang memiliki kapasitas tinggi dalam menyerap dan menyimpan panas. Selain itu, aktivitas manusia, seperti penggunaan kendaraan dan pendingin ruangan, berkontribusi dalam meningkatkan emisi panas ke atmosfer. Studi di Roma menunjukkan bahwa strategi peningkatan albedo permukaan dapat mengurangi suhu udara hingga 4°C pada siang hari dan sedikit meningkatkan suhu malam hari, sehingga penting untuk mempertimbangkan dinamika waktu dalam penerapan strategi ini (Morini et al., 2018).

2.4 Kualitas Udara

Kualitas udara di perkotaan sangat dipengaruhi oleh konsentrasi polutan seperti nitrogen oksida (NOx), sulfur dioksida (SO₂), dan partikel halus (PM10 dan PM2.5). Vegetasi perkotaan memainkan peran kunci dalam meningkatkan kualitas udara dengan menyerap polutan ini melalui proses fotosintesis dan melalui pengendapan partikulat pada permukaan daun. Penerapan vegetasi seperti atap hijau telah terbukti meningkatkan kualitas udara di daerah perkotaan dengan cara menurunkan suhu permukaan, yang pada akhirnya mengurangi kebutuhan energi untuk pendinginan dan menurunkan emisi terkait (Sharma et al., 2016). Oleh karena itu, kualitas udara adalah kriteria penting dalam mitigasi UHI, di mana penurunan suhu udara secara langsung dapat berkontribusi pada pengurangan polusi udara.

2.5 Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal adalah persepsi subjektif seseorang terhadap suhu lingkungan dan merupakan indikator penting dalam penilaian kualitas hidup di

perkotaan. Kenyamanan termal dipengaruhi oleh beberapa faktor termasuk suhu udara, kelembapan, angin, dan radiasi matahari. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan atap dan dinding dengan albedo tinggi dapat secara signifikan meningkatkan kenyamanan termal. Di Phoenix, penerapan permukaan beralbedo tinggi mengurangi suhu permukaan jalan, yang berdampak positif terhadap kenyamanan termal, khususnya di lingkungan dengan kepadatan penduduk tinggi (Sen et al., 2019). Selain itu, strategi mitigasi seperti menanam pohon untuk menyediakan bayangan juga membantu dalam mengurangi suhu radiasi matahari, sehingga meningkatkan kenyamanan termal.

2.6 Mitigasi UHI

Mitigasi adalah langkah-langkah untuk mengurangi atau mengendalikan dampak negatif dari UHI. Menurut Wong et al. (2021), penggunaan vegetasi merupakan salah satu metode mitigasi yang paling efektif. Vegetasi seperti taman kota, atap hijau, dan dinding hijau dapat menurunkan suhu permukaan hingga 9°C. Selain itu, penggunaan material dengan albedo tinggi, seperti atap putih atau material reflektif, juga sangat efektif dalam mengurangi dampak UHI (Wong et al., 2021).

Pemilihan strategi mitigasi yang tepat sangat penting dan harus disesuaikan dengan kondisi lokal. Li et al. (2014) menemukan bahwa penggunaan material beralbedo tinggi dapat menurunkan suhu permukaan secara substansial, terutama di kota-kota dengan bangunan yang padat. Kombinasi antara vegetasi dan permukaan dingin mampu meningkatkan kenyamanan termal di lingkungan perkotaan.

2.6.1 Skala Taman dan Vegetasi Koridor

Vegetasi koridor, seperti deretan pohon di sepanjang jalan, dan taman kota memainkan peran penting dalam mitigasi UHI. Vegetasi berfungsi sebagai pendingin alami melalui proses evapotranspirasi dan bayangan. Taman-taman di perkotaan juga membantu mengurangi suhu udara di sekitarnya, seperti adanya penanaman Pohon Ketapang dan Pohon Tanjung di Kawasan taman. Pada penelitian yang dilakukan oleh Marjenah (2021) di beberapa kota di Kalimantan Timur, yaitu Balikpapan, Samarinda, dan Tenggarong menunjukkan bahwa pohon Ketapang dapat menurunkan suhu sekitar 0,33% hingga 14,76% tergantung pada ketebalan kanopi di berbagai lokasi. Semakin tebal kanopi pohon, semakin rendah suhu yang tercatat di bawah kanopi. Tidak hanya itu, pada penelitian Simangunsong et al. (2023) terkait suhu dan kenyamanan termal di Jalan Kyai Tapa, Jakarta, tanaman yang menjadi objek penelitian, termasuk Pohon Tanjung (*Mimusops elengi*), berperan dalam mengurangi suhu udara di sekitar. Secara umum, penurunan suhu yang dapat dicapai oleh pohon-pohon tersebut berkisar sekitar 1°C hingga 3°C di beberapa titik, meskipun tidak selalu konsisten di sepanjang waktu.

Vegetasi koridor merupakan deretan pohon di sepanjang jalan dan memiliki peran yang cukup signifikan dalam mengurangi suhu panas perkotaan. Beberapa pohon seperti Palem dan Cemara seringkali digunakan sebagai vegetasi koridor ini. Pada penelitian yang dilakukan oleh Rchid (2012) terkait dampak ruang hijau terutama pohon Palem yang memiliki ketahanan pada iklim mikro di Ghardaia, aljazair serta kanopi Pohon Palem yang cenderung lebih terbuka, meyoroti

bahwasanya pohon ini dapat menurunkan suhu luar secara signifikan dengan efek pendinginan rata-rata antara 2 hingga 3° C, dan hingga 10° C selama kondisi nokturnal. Selain itu penelitian oleh Yıldız & Avdan (2018) ini mengukur pengaruh vegetasi, khususnya Pohon Cemara (*Thuja occidentalis L.*) dengan karakteristik kanopi yang lebat dan proses evapotranspirasi yang melepaskan uap air ke atmosfer sehingga menyebabkan penurunan suhu dan mengurangi efek *Urban Heat Island* (UHI) di Erzurum, Turki. Hasil menunjukkan suhu permukaan tanaman ini antara 8,67°C hingga 9,32°C, lebih rendah dibandingkan dengan suhu permukaan trotoar yang mencapai 10,96°C, dengan selisih sekitar 2,5°C.

2.6.2 Skala Tanaman Penutup Lahan

Tanaman penutup lahan, seperti rumput dan semak, efektif dalam menurunkan suhu permukaan melalui evapotranspirasi. Vegetasi ini membantu mengurangi suhu tanah, terutama di wilayah dengan intensitas panas tinggi. Studi yang dilakukan di Melbourne menemukan bahwa penanaman vegetasi penutup dapat menurunkan suhu permukaan hingga 1,4°C, yang berkontribusi signifikan pada pengurangan efek UHI pada daerah yang sangat padat (Herath et al., 2021).

Rumput Gajah (*Pennisetum purpureum*) dan Krokot (*Portulaca oleracea*) merupakan tanaman penutup lahan dan Semak lokal yang tumbuh dengan baik di kondisi iklim tropis lembap, mudah untuk tumbuh dan berkembang dan taahan terhadap panas dan angin, tahan terhadap polusi, serta membutuhkan sedikit air dan pupuk (Irfandi et al., 2021). Kedua tanaman ini memberikan naungan dan meningkatkan kelembapan melalui proses evaporasi. Rumput gajah dapat menurunkan suhu sekitar 2°C hingga 4°C, sementara Krokot dapat menurunkan

suhu sekitar 1°C hingga 3°C. Meskipun penurunan suhu yang dihasilkan tidak sebesar pendinginan mekanis, tanaman ini menawarkan solusi alami yang efektif untuk mengurangi dampak *urban heat island* (UHI) dan meningkatkan kenyamanan lingkungan perkotaan (Irfandi et al., 2021).

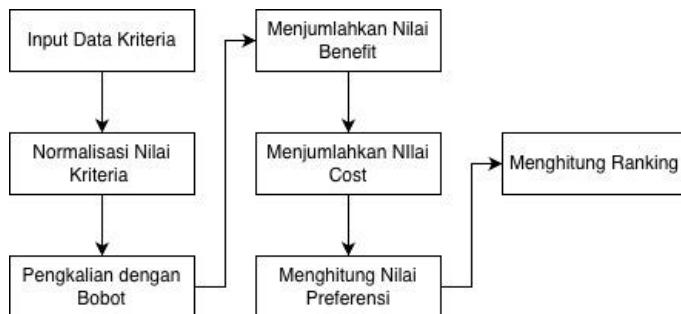
2.6.3 Albedo Vegetasi (Taman, Koridor, Penutup Lahan)

Albedo vegetasi mengacu pada kemampuan permukaan hijau untuk memantulkan radiasi matahari. Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan albedo di area taman dan vegetasi penutup lahan dapat memberikan efek pendinginan tambahan sebesar 1–2°C, yang sangat penting untuk menurunkan suhu permukaan terutama di area dengan intensitas matahari tinggi (Morini et al., 2018). Peningkatan albedo dapat dicapai dengan memilih jenis tanaman yang lebih reflektif atau dengan menambahkan permukaan reflektif di sekitar vegetasi.

2.7 Metode MOORA *Rule-Based*

Metode MOORA *Rule-Based* dapat digunakan untuk pengambilan keputusan multikriteria, termasuk perencanaan kota dan penilaian alternatif berdasarkan kriteria yang saling bertentangan (bernilai menguntungkan atau tidak menguntungkan). Penelitian yang mengintegrasikan metode MOORA dengan pendekatan rule-based menunjukkan efektivitas dalam menghasilkan rekomendasi dari permasalahan multikriteria secara efektif dan efisien (Hafsari, 2019).

2.7.1 Metode MOORA



Gambar 2. 1 Diagram MOORA

Alur perhitungan metode MOORA dimulai dengan menyusun matriks keputusan dari data alternatif dan kriteria, yang kemudian dinormalisasi agar memiliki satuan yang seragam sehingga dapat dibandingkan. Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai optimasi dengan cara menjumlahkan seluruh nilai pada kriteria yang bersifat *benefit* (menguntungkan) lalu dikurangi dengan jumlah nilai pada kriteria *cost* (biaya/merugikan). Terakhir, hasil perhitungan tersebut (nilai preferensi) diurutkan dari nilai tertinggi hingga terendah untuk menentukan peringkat alternatif terbaik sebagai keputusan akhir.

Berikut Langkah-langkah untuk memecahkan masalah menggunakan MOORA:

1. Matriks Keputusan

Metode MOORA diawali dengan membuat matriks keputusan yang memetakan alternatif (pada baris) terhadap kriteria (pada kolom). Matriks ini menyajikan data mentah mengenai bagaimana performa setiap alternatif pada setiap kriteria yang diuji.

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & X_{2n} \\ X_{m1} & X_{m2} & X_{3n} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Keterangan :

X : Matriks Keputusan

X_{ij} : Respon alternatif j pada kriteria i

i : 1,2,3,... ,n menunjukan jumlah banyak atribut atau kriteria

j : 1,2,3,... , m menunjukan jumlah banyak alternatif

2. Normalisasi Matriks

Normalisasi Matriks didasari pada nilai rasio yang diketahui sebagai nilai alternatif (i) terhadap nilai kriteria (j) yang mewakili semua alternatif (i) berdasarkan kriteria (j). Brauers (2008) menyimpulkan bahwa opsi denominator terbaik adalah akar kuadrat dari jumlah kuadrat setiap alternatif per atribut. Rasio ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$x_{ij}^* = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_i^m = 1 x_{ij}^2}} \quad (2.2)$$

Keterangan :

X_{ij} : Matriks alternatif j pada kriteria i

i : 1,2,3,... , m menunjukan jumlah banyak atribut atau kriteria

j : 1,2,3,... , n menunjukan jumlah banyak alternatif

x_{ij}^* : Normalisasi Matriks

3. Menghitung Nilai Preferensi

Pengukuran kinerja dalam optimasi multi-tujuan dilakukan dengan mengombinasikan atribut keuntungan dan biaya. Atribut yang harus dimaksimalkan akan bernilai positif, sementara atribut yang harus diminimalkan akan bernilai negatif dalam persamaan berikut:

$$y_j^* = \sum_{i=1}^{i=g} X_{ij}^* - \sum_{i=g}^{i=n} X_{ij}^* \quad (2.3)$$

Keterangan :

$i : 1, 2, 3, \dots, g$ adalah atribut atau kriteria dengan status maximized

$j : g+1, g+2, g+3, \dots, n$ adalah atribut atau kriteria dengan status minimized

y_j^* : Matriks Normalisasi max-min alternatif j

Jika kriteria masing-masing alternatif diberikan nilai bobot

$$y_j^* = \sum_{j=1}^g W_j X_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^n W_j X_{ij}^* \quad (2.4)$$

Keterangan :

$i : 1, 2, 3, \dots, g$ adalah atribut atau kriteria dengan status maximized

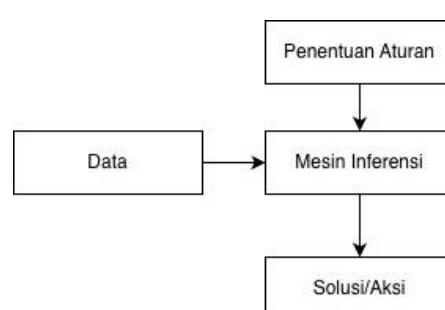
$j : g+1, g+2, \dots, n$ adalah atribut atau kriteria dengan status minimized

W_j : Bobot terhadap alternatif

y_i : Nilai penilaian yang sudah dinormalisasi dari alternatif j terhadap semua atribut

y_j^* : Nilai Preferensi

2.7.2 Rule-Based System



Gambar 2. 2 Diagram Rule-Based System

Alur kerja Rule-Based System diawali dengan memasukkan data atau fakta ke dalam sistem, yang kemudian diproses oleh mesin inferensi (*inference engine*) untuk dicocokkan dengan basis pengetahuan berisi kumpulan aturan logika "Jika-Maka" (*If-Then rules*). Apabila kondisi data memenuhi premis aturan yang ada, sistem akan "menembakkan" (*fire*) aturan tersebut untuk mengeksekusi tindakan

atau menarik kesimpulan. Proses pencocokan ini terus berjalan hingga ditemukan solusi spesifik atau keputusan akhir yang menjadi *output* sistem.

Struktur fungsional dari *rule-based system* mengintegrasikan aturan *if-then* dan basis fakta melalui mekanisme kontrol penerjemah (Grosan & Abraham, 2005). Representasi aturannya mengikuti pola logis di mana kondisi "Jika x Adalah A" berperan sebagai premis (anteseden) yang memicu munculnya kesimpulan (konsekuensi) berupa pernyataan "y adalah B".

```
IF condition  
AND condition2  
OR condition3 (antesenden)  
...  
THEN action1, action2, action3, ... (kesimpulan)
```

Terdapat dua pendekatan yang digunakan dalam penerapan *rule-based system* yaitu pendekatan *forward chaining* dan *backward chaining*. Pada *forward chaining*, proses dimulai dengan menganalisis fakta yang ada untuk menghasilkan kesimpulan baru melalui aturan yang tersedia. Sebaliknya, *backward chaining* mengawali proses dari sebuah hipotesis atau tujuan, kemudian mencari aturan dan fakta pendukung yang dapat membuktikan kebenaran hipotesis tersebut.

2.8 *Simulation Game*

Simulation game adalah jenis permainan yang dirancang untuk meniru skenario dunia nyata dan memberikan pengalaman yang realistik kepada pemain dalam pengambilan keputusan. Dalam konteks mitigasi *Urban Heat Island* (UHI), permainan simulasi memungkinkan pengguna untuk memahami berbagai strategi mitigasi melalui interaksi langsung dengan lingkungan virtual yang serupa dengan dunia nyata. Sebagai contoh, penelitian oleh Asadi et al. (2020) menunjukkan

bahwa simulasi penggunaan atap hijau dapat secara signifikan mengurangi suhu permukaan di wilayah perkotaan yang terkena dampak UHI. Melalui simulasi yang menggunakan Jaringan Saraf Buatan, pemain dapat mengeksplorasi strategi mitigasi seperti penerapan vegetasi di atap bangunan untuk melihat dampaknya terhadap pengurangan suhu di kota (Asadi et al., 2020).

Lebih lanjut, penelitian oleh Turhan et al. (2023) mengembangkan kerangka pengambilan keputusan multi-kriteria yang menggabungkan simulasi iklim mikro dan performa energi bangunan. Simulasi ini digunakan untuk mengevaluasi berbagai strategi mitigasi UHI, seperti penggunaan bahan dengan albedo tinggi, solusi berbasis alam (NBS), dan perubahan bahan fasad bangunan. *Game* simulasi yang mengadopsi pendekatan ini dapat membantu pemain dalam membuat keputusan yang paling efektif untuk mitigasi UHI berdasarkan data real-time seperti konsumsi energi, kenyamanan termal, dan biaya implementasi (Turhan et al., 2023). Selain itu, Liu & Morawska (2020) dalam penelitiannya menggunakan simulasi realistik untuk mengevaluasi efek mitigasi UHI melalui penerapan "*cool coatings*" atau pelapisan yang meningkatkan albedo permukaan. Game simulasi yang memungkinkan pemain untuk menguji penerapan teknologi ini dapat memberikan wawasan mengenai pengurangan suhu yang signifikan di lingkungan perkotaan yang terkena dampak UHI (Liu & Morawska, 2020).

Teknologi kecerdasan buatan (AI) juga memiliki peran penting dalam permainan simulasi berbasis pengambilan keputusan. Sebagaimana dijelaskan oleh Soboleva & Shalaginova (2019) AI memungkinkan pemain untuk membuat keputusan yang kompleks dalam lingkungan permainan dengan menggunakan

algoritma pengambilan keputusan otomatis. Teknologi ini dapat diterapkan dalam game simulasi mitigasi UHI untuk mengoptimalkan strategi mitigasi yang dipilih pemain berdasarkan data *real-time* (Soboleva & Shalaginova, 2019).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Analisis dan Perancangan Game

Analisis dan perancangan yang akan dilakukan untuk mengembangkan permainan “Malang Urban Heat” meliputi analisis *game*, perancangan *game*, dan perancangan antarmuka.

3.1.1 Analisis Game

Game simulasi mitigasi Urban Heat Island (UHI) yang dikembangkan dalam penelitian ini telah dianalisis dengan tujuan mengevaluasi efektivitas penggunaan metode MOORA rule-based dalam membantu pemain memahami dan memilih strategi mitigasi yang optimal. Analisis berfokus pada dua aspek utama: keterlibatan pemain dan dampak visual dari implementasi strategi mitigasi.

Pertama, keterlibatan pemain dievaluasi melalui interaksi dalam memilih antara area *organize* dan *organic*, yang memungkinkan pemain untuk memahami karakteristik dan tantangan lingkungan perkotaan yang berbeda. *Game* ini berhasil menarik perhatian pengguna dengan memberikan pilihan yang relevan serta dampak dari setiap keputusan yang diambil.

Kedua, dampak visual dari implementasi strategi mitigasi menjadi salah satu aspek terpenting dalam analisis ini. Dengan memberikan umpan balik langsung melalui visualisasi hasil, pemain dapat melihat bagaimana setiap strategi mitigasi berkontribusi dalam menurunkan suhu di area perkotaan. Visualisasi ini tidak hanya meningkatkan kesadaran pemain terhadap pentingnya mitigasi UHI, tetapi juga

memperkuat pemahaman mengenai efek jangka panjang dari strategi lingkungan yang dipilih.

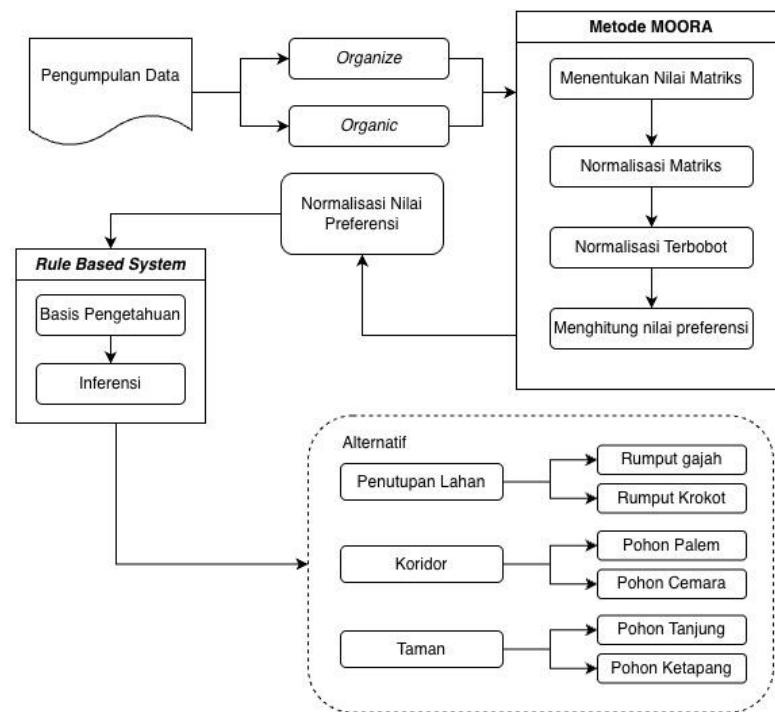
Secara keseluruhan, *game* simulasi ini dinilai efektif dalam meningkatkan pemahaman mengenai mitigasi UHI dengan memberikan edukasi berbasis data dan memperlihatkan dampak nyata dari keputusan pemain melalui pendekatan simulasi yang interaktif dan analitis. Analisis ini menunjukkan bahwa *simulation game* yang menggunakan metode MOORA *Rule-Based* dapat berfungsi tidak hanya sebagai alat edukasi tetapi juga sebagai sarana pengambilan keputusan yang didasarkan pada evaluasi multikriteria untuk mendukung perencanaan kota yang berkelanjutan.

3.1.2 Desain Penelitian

Desain penelitian untuk menerapkan metode dalam *game* “Malang Urban Heat” adalah proses perancangan sistem yang meliputi arsitektur, antarmuka, dan sistem yang akan digunakan di dalam mengintegrasikan metode MOORA *Rule-Based* dalam *game*. Tahap ini datang setelah analisis sistem dilakukan dan keputusan menerapkan metode MOORA Rule-Based telah diambil. Oleh karena itu, diagram alur kerja sistem dibuat dalam bentuk diagram FSM mengenai rekomendasi mitigasi UHI untuk game “Malang Urban Heat” pada gambar 3.1.

Diawali dengan melakukan pengumpulan data yang kemudian akan dikelompokkan menjadi 2 jenis wilayah, yaitu wilayah *organize* dan wilayah *organic*. Kemudian akan dilakukan perhitungan menggunakan metode MOORA berdasarkan jenis wilayah untuk mendapatkan nilai preferensi dari masing2 wilayah yang akan dijadikan nilai *input* untuk *Rule-Based System* guna

mendapatkan hasil keputusan mitigasi berupa Penutupan Lahan, Koridor, dan Taman.

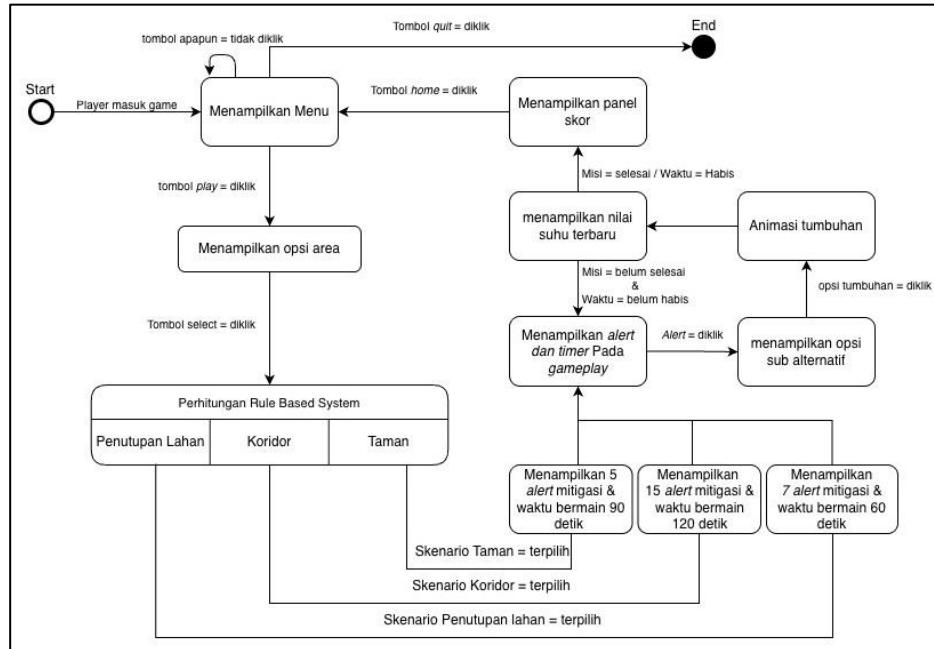


Gambar 3. 1 Desain Penelitian

3.1.3 Perancangan *Simulation Game*

Game “Malang Urban Heat” dimulai dengan halaman menu utama yang berisikan *start*, *setting*, *select area*, dan *quit*. Penerapan perhitungan MOORA digunakan pada saat memasuki *game*. Sedangkan penerapan *Rule-Based* berjalan pada saat pemain memilih area dan menekan tombol *start*. Kemudian, pada setiap area memiliki nilai kriteria yang berbeda sehingga akan mendapatkan skenario berupa penutupan lahan, koridor, atau taman saat memasuki permainan. Pemain bisa langsung mendapatkan keputusan skenario mitigasi dari hasil perhitungan metode MOORA *Rule-Based*. Pemain harus menuntaskan seluruh misi untuk mendapatkan poin dan bertarung dengan waktu, sesuai dengan keputusan skenario

mitigasi untuk menyelesaikan permainan. Berikut merupakan diagram permainan yang ditampilkan pada gambar 3.2.



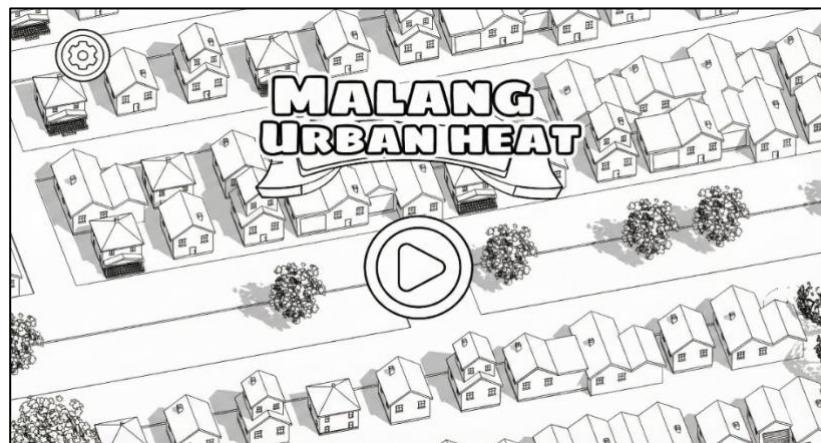
Gambar 3. 2 Diagram Finite State Machine

3.1.4 Perancangan Antarmuka Game

Rancangan antarmuka game “Malang Urban Heat” terdiri dari beberapa hal, diantaranya tampilan awal *main menu*, tampilan *area selection*, *gameplay*, NPC, pemilihan tanaman dan *Mission Success*.

1. Tampilan Awal Game

Saat memasuki game, pemain akan diberikan tampilan main menu yang terdiri dari start dan juga settings.



Gambar 3. 3 Tampilan Main Menu

2. Area Selection

Tampilan ini akan muncul setelah pemain menekan tombol start.

Pemain harus memilih area yang akan disimulasikan.



Gambar 3. 4 Tampilan Pemilihan Area

3. Gameplay

Tampilan pada saat *game* dijalankan. Terdapat tombol *alert* sebagai penanda untuk titik yang bisa dilakukan mitigasi. Terdapat NPC yang akan memberikan ekspresi sedih apabila ada *alert* di sekitarnya. Pada tampilan UI terdapat nama area, suhu udara, misi permainan, dan waktu

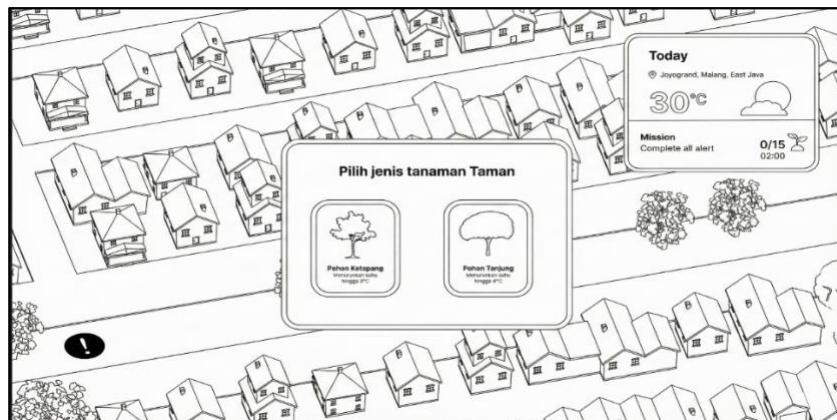
permainan. Untuk setiap wilayah memiliki jumlah *alert* dan waktu permainan yang berbeda-beda berdasarkan pada hasil keputusan mitigasi dari perhitungan MOORA Rule Based.



Gambar 3. 5 Tampilan Gameplay

4. Opsi Tanaman untuk Mitigasi

Tampilan ini akan muncul setelah *alert* diklik. Player bisa memilih jenis tanaman untuk mitigasi pada titik *alert* yang telah dipilih. Jenis opsi tanaman berbeda-beda berdasarkan hasil dari keputusan mitigasi.



Gambar 3. 6 Tampilan Opsi Tanaman

5. Perubahan Ekspresi NPC

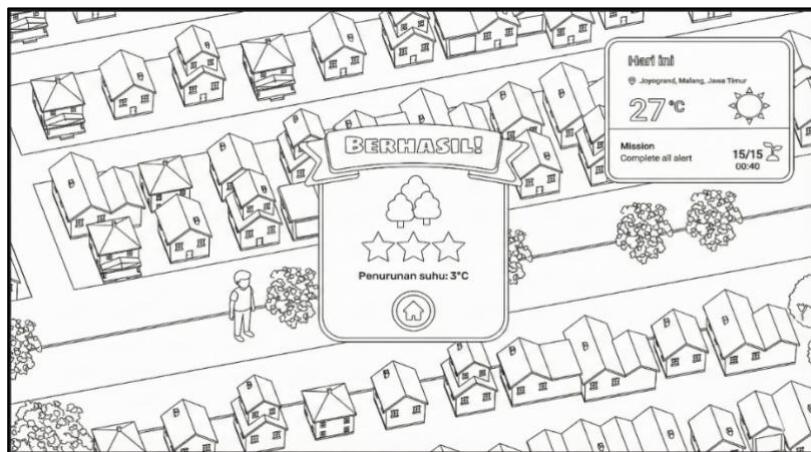
NPC akan memberikan ekspresi bahagia apabila titik *alert* di sekitarnya sudah dilakukan mitigasi.



Gambar 3. 7 Perubahan Ekspresi NPC

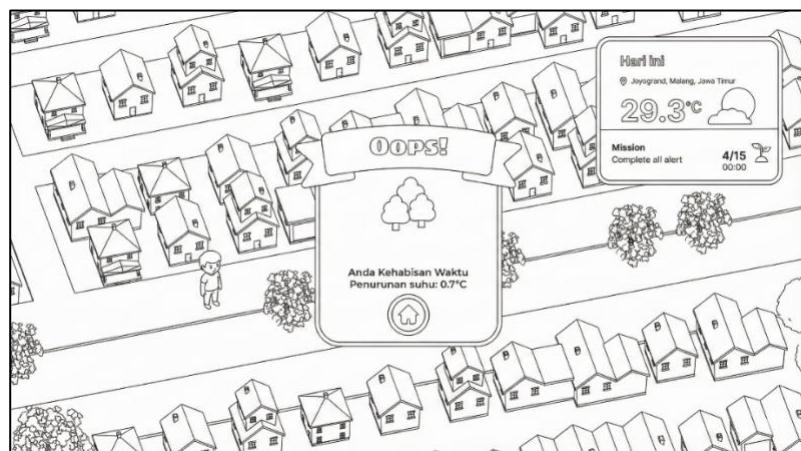
6. Game Over

Berikut adalah tampilan ketika permainan berakhir. Akan muncul total penurunan suhu yang akan dijadikan tolak ukur untuk penentuan skor. Setiap mitigasi memiliki perhitungan skor yang berbeda-beda didasarkan dari nilai minimum dan maksimum penurunan suhu tanaman dari setiap mitigasi. Pada gambar 3.8 merupakan kondisi apabila misi terselesaikan sebelum waktu permainan habis.



Gambar 3. 8 Tampilan Misi Berhasil

Berikut adalah tampilan ketika permainan berakhir dikarenakan waktu habis dan misi tidak terselesaikan. Akan muncul total penurunan suhu yang akan dijadikan tolak ukur untuk penentuan skor. Namun jika penurunan suhu tidak menyentuh nilai minimum dari penurunan suhu maka tidak akan memperoleh bintang seperti yang ditampilkan pada gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Tampilan Misi Gagal

3.2 Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data yang bersumber dari penelitian terdahulu, data agregat, dan nilai referensi albedo. Pengambilan data dilakukan di Kota

Malang, dengan total 153 data agregat yang kemudian diambil 8 sampel yang terbagi menjadi 2 jenis wilayah yang terdiri dari 4 sampel wilayah Perumahan (*Organize*) dan 4 sampel wilayah Permukiman (*Organic*). Kusumadewi et al. (2024), pemilihan wilayah dilakukan berdasarkan nilai UHI tertinggi di Kota Malang. Selain itu, data yang diambil dari 8 wilayah tersebut mencakup variabel-variabel seperti suhu udara, kualitas udara, kenyamanan termal yang diperoleh melalui survei perspektif masyarakat dan skala taman, skala tanaman koridor, skala tanaman penutup lahan, albedo skala taman, albedo skala tanaman koridor, dan albedo skala tanaman penutup lahan yang dilakukan melalui survei fisik.

3.3 Rancangan Perhitungan Metode MOORA

Kriteria dan alternatif wilayah yang digunakan pada penelitian ini disajikan dalam table 3.1 dan table 3.2 yang menyediakan detail data yang akan digunakan.

Tabel 3.1 Data Wilayah

No	Nama Kawasan	Koordinat	Wilayah	Kategori
1.	OR1	-7.9558253,112.6526594	Jl Titan Asri – Jl Tita Raya – Jl Sulfat Agung – l Simpang Sulfat Utara	Organize
2.	OR2	-7.9431827,112.5941544	Perum Joyogrand – Jl Jerusalem – Jl Jeddah – Jl Chili – Jl Halmahera – jl Terusan Joyo Taman Sari	Organize
3.	OR3	-7.974393,112.6655271	Jl Danau Panai – Jl Danau Tigi – Jl Danau Sentani	Organize
4.	OR4	-7.9349225,112.6369252	Jl Ikan Nus 1 – Jl Ikan Layur – Jl Ikan Paus – Jl Taman Borobudur Agung	Organize
5.	OG1	-7.9666487,112.6480891	Jl Taman Sulfat 32 – Jl Widias Utara – Jl Widias – Jl Pamali – Jl Digul – Jl Comal – Jl Lusi – Jl Binor	Organic
6.	OG2	-7.955241,112.642149	Jl Ciliwung – Jl Cimandur –Jl Citarum – Jl Cidurian – Jl Cisadane – Jl Cisadea – Jl Cimanuk – Jl Citadui – Jl Ciwulan	Organic

No	Nama Kawasan	Koordinat	Wilayah	Kategori
7.	OG3	-7.9664626,112.6437136	Jl Mayang- Jl Bondo Yudho – Jl Banyu Putih – Jl Pandan Laras – Jl Tuntang – Jl Girinndulu – Jl Lesti – Jl Rawa – Jl Girindulu	Organic
8.	OG4	-7.9514326,112.6423919	Jl Karya Timur Wonosari – Jl Karya Timur Gg 1 – Jl Ciliwung 1,2,2A,2B – Jl Ciliwung Airdas – Jl Ciliwung	Organic

Pada Tabel 3.1 menampilkan daftar data wilayah yang akan dianalisis pada game “Malang Urban Heat” menggunakan metode MOORA. Informasi yang terkandung dalam tabel ini mencakup nama Kawasan, Titik koordinat, Wilayah, dan kategori masing-masing kawasan yang dijadikan sebagai lokasi penelitian. Dalam penulisan kawasan terdapat Kode OR (*Organize*) yang berarti perumahan dan OG (*Organic*) yang berarti permukiman. Untuk kawasan Perumahan (OR) terdiri dari 42 agregat dengan label Perumahan1 hingga Perumahan42, sementara untuk kawasan Permukiman (OG) mencakup 115 agregat dengan label Permukiman1 hingga Permukiman115.

Dari keseluruhan wilayah yang dianalisis, delapan wilayah dipilih sebagai lokasi penelitian utama, terdiri dari empat kawasan Perumahan dan empat kawasan Permukiman. Kawasan Perumahan yang terpilih adalah Perumahan11, Perumahan29, Perumahan8, dan Perumahan3. Untuk mempermudah identifikasi, Perumahan11 akan diganti menjadi OR1 hingga Perumahan3 menjadi OR4. Kawasan ini merupakan permukiman yang berkembang dengan terencana, memiliki keteraturan dan mempunyai bentuk geometri, namun meskipun masih

memerlukan perencanaan lebih lanjut untuk meningkatkan kualitas dan kenyamanan penduduknya.

Sementara itu, kawasan Permukiman yang dipilih meliputi Permukiman51, Permukiman56, Permukiman87, dan Permukiman42. Untuk kemudahan identifikasi, Permukiman56 akan diganti menjadi OG1 hingga Permukiman42 menjadi OG4. Kawasan-kawasan ini adalah kawasan permukiman yang tumbuh, tidak terencana dan sering disebut sebagai “*Organic*” (Susanti & Ikaputra, 2020). Sebagai penanda visual pada Tabel 3.2, bobot untuk kategori *Organize* diberi warna Hijau, sedangkan bobot untuk kategori *Organic* ditandai dengan warna Kuning.

Tabel 3. 2 Kriteria

No	Kriteria	Nama Kriteria	Bobot <i>Organize</i>	Bobot <i>Organic</i>	Keterangan
1	C1	Suhu Udara	0,042107584	0,042107584	Cost
2	C2	Kualitas Udara	0,026234568	0,026234568	Cost
3	C3	Kenyamanan Termal	0,012345679	0,012345679	Benefit
4	C4	Skala Taman	0,314329806	0,110626102	Benefit
5	C5	Skala Tanaman Koridor	0,203218695	0,082848325	Benefit
6	C6	Skala Tanaman Penutup Lahan	0,147663139	0,060626102	Benefit
7	C7	Albedo Skala Taman	0,110626102	0,314329806	Benefit
8	C8	Albedo Skala Tanaman Koridor	0,082848325	0,203218695	Benefit
9	C9	Albedo Skala Tanaman Penutup Lahan	0,060626102	0,147663139	Benefit

Sumber : (Kusumadewi et al., 2024)

Tabel 3.2 merangkum kriteria yang digunakan dalam analisis mitigasi pada game "Malang Urban Heat" dengan menggunakan metode MOORA, di mana bobot kriteria ditetapkan melalui metode *Rank Order Centroid* (ROC). Sistem kerja dari ROC adalah mengurutkan kriteria yang paling penting hingga yang kurang penting, sehingga perhitungan bobot untuk setiap kriteria dihitung berdasarkan posisi

peringkatnya (Hatefi, 2023). Perhitungan ROC dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$W_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{i} \right) \quad (3.1)$$

W_m merupakan bobot rata-rata yang dihitung untuk kriteria berdasarkan urutannya dari yang paling penting hingga yang kurang penting. Angka m menggambarkan jumlah total kriteria yang dinilai, sedangkan i menunjukkan posisi peringkat dari setiap kriteria. Untuk setiap kriteria yang berada di posisi i , bobotnya dihitung sebagai $1/i$, dengan kriteria yang berada pada posisi tertinggi (yaitu posisi 1) akan mendapatkan bobot 1, sedangkan kriteria pada posisi 2 akan mendapatkan bobot $1/2$, dan seterusnya. Setelah semua bobot dihitung, bobot-bobot ini dijumlahkan dan dibagi dengan jumlah total kriteria m untuk menghasilkan bobot rata-rata W_m . Adapun hasil perhitungan bobot dapat ditemukan pada Tabel 3.2.

3.3.1 Menentukan Matriks Keputusan

Penentuan matriks keputusan yang menjadi langkah awal dalam analisis dengan metode MOORA. Matriks keputusan ini menyusun data dari berbagai kriteria (C1 hingga C9) terhadap sejumlah wilayah Perumahan, yang terdiri dari OR1, OR2, OR3, dan OR4 seperti pada tabel 3.3. Serta wilayah Permukiman, yang terdiri dari OG1, OG2, OG3, dan OG4 seperti pada tabel 3.4. Setiap nilai dalam tabel ini menggambarkan karakteristik dari tiap alternatif, mencerminkan aspek-aspek yang penting dalam proses evaluasi. Melalui pembentukan matriks ini, data mentah diolah menjadi bentuk yang lebih terstruktur, memungkinkan kita untuk melakukan langkah-langkah selanjutnya seperti normalisasi data dan penentuan bobot kriteria dengan lebih sistematis. Dengan demikian, analisis dapat dilakukan

secara lebih akurat dan memberikan hasil yang relevan untuk evaluasi dan pemilihan alternatif terbaik dalam konteks mitigasi UHI.

Tabel 3. 3 Matriks Kawasan Perumahan

Kriteria	Kawasan			
	OR1	OR2	OR3	OR4
Suhu Udara	3	2,46	2,69	2,95
Kualitas Udara	2,67	3,08	3,14	2,7
Kenyamanan Termal	3,43	3,73	3,97	3,5
Skala Taman (m2)	1	540	792	504
Skala Tanaman Koridor (m2)	1	965	1	1
Skala Tanaman Penutup Lahan (m2)	1	1	1	1
Albedo Skala Taman	0,2	0,2	0,2	0,2
Albedo Skala Tanaman Koridor	0,2	0,2	0,2	0,2
Albedo Skala Tanaman Penutup Lahan	0,2	0,2	0,2	0,2

Selanjutnya, disajikan matriks keputusan untuk wilayah Permukiman. Tabel 3.4 merangkum data dari wilayah OG1, OG2, OG3, dan OG4. Sama halnya dengan tabel 3.3, data ini menggambarkan atribut-atribut penting dari kawasan permukiman yang akan dianalisis lebih lanjut.

Tabel 3. 4 Matriks Keputusan Kawasan Permukiman

Kriteria	Kawasan			
	OG1	OG2	OG3	OG4
Suhu Udara	3,44	3,35	3,48	3,52
Kualitas Udara	3,31	2,85	2,97	3,16
Kenyamanan Termal	3,81	3,95	3,74	3,87
Skala Taman (m2)	1	1	1	1
Skala Tanaman Koridor (m2)	415	101	86	53
Skala Tanaman Penutup Lahan (m2)	1	1	1	1
Albedo Skala Taman	0,2	0,2	0,2	0,2
Albedo Skala Tanaman Koridor	0,2	0,2	0,2	0,2
Albedo Skala Tanaman Penutup Lahan	0,2	0,2	0,2	0,2

3.3.2 Matriks Normalisasi

Berdasarkan Menguraikan proses normalisasi matriks, sebuah langkah penting dalam metode MOORA yang bertujuan untuk mengubah data mentah menjadi bentuk yang dapat diperbandingkan secara objektif. Normalisasi matriks

dilakukan untuk menghilangkan perbedaan satuan dan skala pada setiap kriteria, sehingga masing-masing kriteria dapat dinilai secara setara dalam analisis. Dengan proses ini, nilai-nilai kriteria dari setiap wilayah disesuaikan sehingga berada dalam rentang yang sama, memungkinkan kita untuk mendapatkan gambaran yang lebih jernih tentang performa relatif dari setiap alternatif. Melalui normalisasi ini, kita memastikan bahwa setiap aspek yang dinilai tidak mendominasi atau terabaikan, melainkan diukur secara proporsional sesuai bobotnya. Proses ini menjadi landasan penting dalam tahapan perhitungan berikutnya, menjamin bahwa hasil akhir analisis memiliki keakuratan dan keadilan dalam penilaian terhadap solusi mitigasi UHI. Nilai normalisasi ditampilkan dalam tabel 3.5 dan 3.6

$$x_{ij}^* = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_i^m = 1 x_{ij}^2}} \quad (3.2)$$

Keterangan:

- X_{ij} : Matriks alternatif j pada kriteria i
- i : 1,2,3,... , m menunjukkan jumlah banyak atribut atau kriteria
- j : 1,2,3,... , n menunjukkan jumlah banyak alternatif
- x_{ij}^* : Normalisasi Matriks

berikut disajikan contoh pencarian nilai normalisasi untuk wilayah OR1 pada Suhu Udara. Agar memudahkan verifikasi hasil, angka yang dihasilkan dari contoh perhitungan ini ditandai dengan warna kuning pada Tabel 3.5.

$$\text{Contoh: } OR1(C1) = \frac{3}{\sqrt{(3,44 \times 3,44) + (3,35 \times 3,35) + (3,48 \times 3,48) + (3,52 \times 3,52)}} = 0,538$$

Tabel 3. 5 Matriks Normalisasi Kawasan Perumahan

C\A	OR1	OR2	OR3	OR4
C1	0,538901094	0,441898897	0,483214648	0,529919409
C2	0,459492606	0,530051396	0,540377072	0,464655444
C3	0,468115128	0,509058142	0,541812553	0,477668497
C4	0,000923364	0,498616659	0,731304433	0,465375548

C5	0,001036268	0,999998389	0,001036268	0,001036268
C6	0,5	0,5	0,5	0,5
C7	0,5	0,5	0,5	0,5
C8	0,5	0,5	0,5	0,5
C9	0,5	0,5	0,5	0,5

Selanjutnya, penerapan persamaan (3.2) untuk menentukan nilai matriks normalisasi pada kawasan permukiman, berikut disajikan contoh pencarian nilai normalisasi untuk wilayah OG1 pada kriteria Suhu Udara. Agar memudahkan verifikasi hasil, angka yang dihasilkan dari contoh perhitungan ini ditandai dengan warna kuning pada Tabel 3.6.

$$\text{Contoh: } OG1(C1) = \frac{3,44}{\sqrt{(3,44 \times 3,44) + (3,35 \times 3,35) + (3,48 \times 3,48) + (3,52 \times 3,52)}} = 0,498$$

Tabel 3. 6 Matriks Normalisasi Kawasan Permukiman

C\A	OG1	OG2	OG3	OG4
C1	0,498828977	0,485778219	0,504629314	0,510429651
C2	0,537766538	0,463031611	0,482527679	0,513396453
C3	0,495670804	0,513884429	0,486563991	0,503476643
C4	0,5	0,5	0,5	0,5
C5	0,945551106	0,230122076	0,19594553	0,120757129
C6	0,5	0,5	0,5	0,5
C7	0,5	0,5	0,5	0,5
C8	0,5	0,5	0,5	0,5
C9	0,5	0,5	0,5	0,5

3.3.3 Matriks Normalisasi Terbobot

Proses normalisasi terbobot, yang merupakan langkah lanjutan setelah normalisasi matriks dalam metode MOORA. Setelah data pada matriks keputusan dinormalisasi untuk menghilangkan perbedaan skala antar kriteria, langkah berikutnya adalah menerapkan bobot pada masing-masing kriteria sesuai tingkat kepentingannya. Proses ini dikenal sebagai normalisasi terbobot.

Normalisasi terbobot dilakukan dengan mengalikan nilai hasil normalisasi setiap kriteria (pada tabel 3.5 dan tabel 3.6) dengan bobot yang telah ditentukan pada tabel 3.2 berdasarkan jenis wilayah. Bobot ini mencerminkan seberapa besar pengaruh atau prioritas masing-masing kriteria dalam analisis mitigasi UHI. Kriteria yang memiliki bobot lebih besar akan lebih berpengaruh terhadap penilaian akhir dibandingkan dengan kriteria yang bobotnya lebih kecil. Oleh karena itu, pemilihan bobot yang tepat sangat penting agar hasil analisis dapat mencerminkan prioritas dan kebutuhan mitigasi secara akurat.

Proses normalisasi terbobot menghasilkan nilai yang telah disesuaikan berdasarkan kontribusi relatif setiap kriteria terhadap alternatif-alternatif yang ada, seperti OR1, OR2, OR3, dan OR4. Dengan demikian, hasil dari normalisasi terbobot ini akan memberikan pandangan yang lebih mendalam dan komprehensif terhadap setiap alternatif dalam kaitannya dengan tujuan mitigasi UHI. Pada tahap ini, nilai-nilai yang dihasilkan siap digunakan untuk analisis lebih lanjut, seperti perhitungan solusi ideal dan pemilihan alternatif terbaik, sehingga mempermudah dalam pengambilan keputusan yang lebih tepat dan terarah.

$$W_{ij} = w_j * x_{ij}^* \quad (3.3)$$

Keterangan :

W_{ij} : Matriks normalisasi terbobot

x_{ij}^* : nilai normalisasi dari alternatif i pada kriteria j

w_j : Bobot terhadap kriteria

Penerapan persamaan (3.3) menghasilkan nilai yang telah disesuaikan berdasarkan kontribusi relatif setiap kriteria. Berikut adalah hasil perhitungan normalisasi terbobot khusus untuk Kawasan *Organize*.

Contoh : $OR1(C3) = 0,495670804 * 0,012345679 = 0,005779199$

Tabel 3. 7 Normalisasi Terbobot Kawasan Perumahan

C\A	OR1	OR2	OR3	OR4
C1	0.022691823	0.018607295	0.020347001	0.022313626
C2	0.01205459	0.013905669	0.014176559	0.012190035
C3	0.005779199	0.006284668	0.006689044	0.005897142
C4	0.000290241	0.156730078	0.229870781	0.146281406
C5	0.000210589	0.203218368	0.000210589	0.000210589
C6	0.07383157	0.07383157	0.07383157	0.07383157
C7	0.055313051	0.055313051	0.055313051	0.055313051
C8	0.041424162	0.041424162	0.041424162	0.041424162
C9	0.030313051	0.030313051	0.030313051	0.030313051

Pada tabel 3.7, nilai-nilai untuk setiap alternatif (seperti OR1, OR2, dst.) telah dikonversi menjadi matriks terbobot yang merepresentasikan performa setiap alternatif terhadap kriteria mitigasi yang telah dibobotkan. Berikut disajikan contoh pencarian nilai normalisasi terbobot untuk wilayah OR1 pada kriteria Kenyamanan Termal. Agar memudahkan verifikasi hasil, angka yang dihasilkan dari contoh perhitungan ini ditandai dengan warna kuning pada Tabel 3.7.

Selanjutnya, perhitungan yang sama diterapkan pada kawasan permukiman. Tabel 3.8 menyajikan matriks keputusan terbobot yang dihasilkan untuk kawasan permukiman dengan menggunakan bobot yang diberi warna kuning pada tabel 3.2. Nilai-nilai pada kedua tabel ini nantinya akan memberikan pandangan yang komprehensif dan siap digunakan untuk tahapan analisis selanjutnya, yaitu perhitungan nilai preferensi. Berikut disajikan contoh pencarian nilai normalisasi terbobot untuk wilayah permukiman. Agar memudahkan verifikasi hasil, angka yang dihasilkan dari contoh perhitungan ini ditandai dengan warna kuning pada

Tabel 3.8.

Contoh : $OG1(C3) = 0,468115128 * 0,012345679 = 0,006119393$

Tabel 3. 8 Normalisasi Terbobot Kawasan Permukiman

C\A	OG1	OG2	OG3	OG4
C1	0.021004483	0.020454947	0.021248721	0.021492959
C2	0.014108073	0.012147434	0.012658905	0.013468734
C3	0.006119393	0.006344252	0.006006963	0.006215761
C4	0.055313051	0.055313051	0.055313051	0.055313051
C5	0.078337325	0.019065228	0.016233759	0.010004526
C6	0.030313051	0.030313051	0.030313051	0.030313051
C7	0.157164903	0.157164903	0.157164903	0.157164903
C8	0.101609347	0.101609347	0.101609347	0.101609347
C9	0.07383157	0.07383157	0.07383157	0.07383157

3.3.4 Nilai Preferensi

Nilai preferensi merupakan tahap akhir dalam metode MOORA untuk menilai dan memilih alternatif terbaik berdasarkan kriteria yang telah dinilai. Setelah melalui tahapan normalisasi terbobot, setiap alternatif kini memiliki nilai-nilai yang telah disesuaikan sesuai dengan bobot kepentingan kriteria. Namun, untuk menentukan alternatif mana yang paling sesuai dengan tujuan mitigasi Urban Heat Island (UHI), diperlukan satu langkah akhir, yaitu menghitung nilai preferensi. Nilai preferensi dihitung dengan menggabungkan seluruh nilai normalisasi terbobot dari setiap kriteria, dengan mempertimbangkan apakah kriteria tersebut merupakan manfaat (*benefit*) atau biaya (*cost*). Kriteria manfaat (*benefit*) akan menambah nilai preferensi, sementara kriteria biaya (*cost*) akan mengurangi nilai preferensi. Dengan demikian, nilai preferensi mencerminkan perbandingan antara keuntungan yang diperoleh dan biaya yang harus ditanggung oleh setiap alternatif. Perhitungan nilai preferensi ini menghasilkan skor akhir bagi setiap wilayah (OR1, OR2, OR3, OR4). Hasil perhitungan ini menjadi landasan penting untuk rekomendasi kebijakan dan langkah-langkah yang akan diambil dalam upaya mengatasi fenomena *Urban Heat Island*.

$$y_j^* = \sum_{j=1}^g W_j X_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^n W_j X_{ij}^* \quad (3.4)$$

Keterangan :

$i : 1,2,3, \dots, g$ adalah atribut atau kriteria dengan status *benefit*

$j : g+1, g+2, \dots, n$ adalah atribut atau kriteria dengan status *cost*

W_j : Bobot terhadap alternatif

y_i : Nilai penilaian yang sudah dinormalisasi dari alternatif j terhadap semua atribut

y_j^* : Nilai Preferensi

berikut disajikan contoh pencarian nilai preferensi untuk wilayah OR1. Agar memudahkan verifikasi hasil, angka yang dihasilkan dari contoh perhitungan ini ditandai dengan warna kuning pada Tabel 3.9.

Contoh :

$$OR1 = (0,005 + 0,002 + 0,002 + 0,073 + 0,055 + 0,041 + 0,030) - (0,022 + 0,012) = 0,1724$$

Tabel 3. 9 Nilai preferensi kawasan perumahan

Wilayah	Nilai Preferensi
OR1	0.17241545
OR2	0.534601984
OR3	0.403128687
OR4	0.31876731

berikut disajikan contoh pencarian nilai preferensi untuk wilayah OG1. Agar memudahkan verifikasi hasil, angka yang dihasilkan dari contoh perhitungan ini ditandai dengan warna kuning pada Tabel 3.10.

Contoh :

$$OG1 = (0,006 + 0,055 + 0,078 + 0,030 + 0,157 + 0,101 + 0,0738) - (0,021 + 0,014) = 0,467$$

Tabel 3. 10 Nilai preferensi kawasan permukiman

Wilayah	Nilai Preferensi
OG1	0.467576084
OG2	0.411039022
OG3	0.406565018
OG4	0.399490516

3.3.5 Normalisasi Nilai Preferensi

Normalisasi nilai preferensi dilakukan untuk memastikan bahwa setiap variabel input berada dalam skala yang sebanding, sehingga memungkinkan

analisis yang lebih akurat dalam menentukan skenario mitigasi. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan perbedaan skala antar-variabel, sehingga nilai preferensi dapat diinterpretasikan dengan lebih baik dalam konteks mitigasi Urban Heat Island (UHI). Pada tabel 3.12 merupakan hasil dari nilai prefensi setelah di normalisasi dengan nilai max dan min dari aturan *rule-based* pada table 3.11

$$x_{norm} = \left(\frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \right) (new_{max} - new_{min}) + new_{min} \quad (3.5)$$

Keterangan:

- x_{norm} : Nilai data setelah dinormalisasi.
- x_i : Nilai preferensi dari data ke- i yang akan dinormalisasi.
- x_{min} : Nilai minimum nilai preferensi.
- x_{max} : Nilai maksimum nilai preferensi.
- new_{min} : Nilai minimum rentang *Rule-Based*.
- new_{max} : Nilai maksimum rentang *Rule-Based*.

Tabel 3. 11 Aturan Rule-Based

Alternatif	Range	
Penutupan Lahan	0,1	0,17
Koridor	0,18	0,26
Taman	0,27	0,35

Berdasarkan parameter batas atas (maksimum) dan batas bawah (minimum) yang telah ditetapkan pada aturan *rule-based* di Tabel 3.11, dilakukan proses normalisasi untuk menyetarakan skala setiap variabel *input*. Langkah ini krusial agar perbedaan rentang nilai antar-variabel tidak menimbulkan bias dalam penentuan skenario mitigasi *Urban Heat Island* (UHI). Hasil perhitungan normalisasi nilai preferensi tersebut secara rinci disajikan dalam Tabel 3.12 berikut.

Tabel 3. 12 Normalisasi nilai preferensi

Wilayah	Normalisasi Nilai Preferensi
OR1	0,1
OR2	0,35
OR3	0,259250287
OR4	0,201019673
OG1	0,303735235

Wilayah	Normalisasi Nilai Preferensi
OG2	0,264710411
OG3	0,261622221
OG4	0,256739031

3.4 Rancangan *Rule-Based System*

Perancangan metode berbasis aturan (*Rule Based System*) dalam penelitian ini bertujuan untuk menerjemahkan hasil perhitungan dari metode MOORA menjadi keputusan skenario mitigasi di dalam permainan. Sistem ini bertindak sebagai jembatan logika antara hasil preferensi matematis dan visualisasi objek. Struktur *Rule Based* terdiri dari dua komponen utama, yaitu Basis Pengetahuan (*Knowledge Base*) dan Mesin Inferensi (*Inference Engine*).

3.4.1 Basis Pengetahuan (*Knowledge Base*)

Basis pengetahuan merupakan komponen yang menyimpan sekumpulan fakta dan aturan yang diperoleh dari hasil akuisisi pengetahuan pakar tata kota dan mitigasi lingkungan. Pengetahuan ini direpresentasikan dalam bentuk aturan dengan struktur *IF-THEN*. Dalam sistem ini, variabel input adalah nilai hasil preferensi MOORA yang telah dinormalisasi ke dalam skala interval [0,1, 0,35]. Berdasarkan rekomendasi pakar, rentang nilai tersebut dipartisi menjadi tiga kategori keputusan mitigasi. Tabel 3.13 berikut menjabarkan aturan yang tersimpan dalam basis pengetahuan.

Tabel 3. 13 Knowledge Base

Alternatif	Range	
Penutupan Lahan	0,1	0,17
Koridor	0,18	0,26
Taman	0,27	0,35

3.4.2 Mesin Inferensi (*Inference Engine*)

Dalam *Rule-Based System*, *inference engine* bertugas menganalisis data untuk menarik kesimpulan berdasarkan fakta dan aturan yang ada. Model ini menggunakan aturan produksi, di mana jika pernyataan bagian *IF* (premis) terpenuhi, maka bagian *THEN* (konklusi) akan dijalankan. Proses ini secara otomatis menghasilkan fakta baru dari sekumpulan fakta yang telah dimasukkan sebelumnya.

Mekanisme aturan produksi dimulai dengan mengevaluasi bagian *IF*. Jika kondisi tersebut terpenuhi, mesin inferensi akan memproses bagian *THEN* dan menjadikannya sebagai fakta baru. Fakta ini kemudian akan diuji kembali pada aturan berikutnya secara berantai hingga mencapai kesimpulan akhir. Detail mengenai aturan-aturan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.14.

Tabel 3. 14 Aturan Rule Based

No	Rules
1.	Jika Nilai input $\leq 0,175$, maka output adalah Penutupan Lahan.
2.	Jika Nilai input $> 0,175$ dan $\leq 0,265$, maka output adalah Koridor.
3.	Jika Nilai input $> 0,265$ dan $\leq 0,35$, maka output adalah Taman.

3.5 Desain Pengujian Sistem

Rencana uji coba dilakukan melalui tahapan pada penerapan metode MOORA *Rule Based*. Uji coba dilakukan dengan melibatkan partisipasi developer dan pengguna dalam memainkan *game* simulasi “Malang Urban Heat”. Serta pengujian untuk mengukur tingkat pemahaman UHI kepada pengguna menggunakan pengujian *pre-test* dan *post-test*.

3.5.1 Pengujian Developer

Instrumen pengujian pada developer mengukur aspek-aspek kualitas menggunakan 10 faktor yaitu : 1) Tujuan game; 2) Mekanisme game; 3) Interaksi; 4) Kebebasan; 5) Fantasi game; 6) Cerita; 7) Sensasi; 8) Nilai game; 9) Tantangan; 10) Misteri (Putri, 2018).

Tabel 3. 15 Instrumen Pertanyaan untuk Developer

Nama Faktor	Item	Nilai
Interaksi	Game ini memiliki panduan bermain yang mudah dipahami	
Mekanisme Game	Game ini memiliki aturan yang jelas pada setiap misi	
Kebebasan	Game ini memiliki alur cerita alternatif yang bisa dipilih pemain	
Tujuan Game	Game ini memiliki misi utama yang jelas	
Nilai Game	Game ini memiliki konten yang sesuai dengan tujuan game	
Cerita	Game ini memiliki alur cerita yang dapat memberi pengetahuan mitigasi	
Fantasi Game	Game ini memiliki cerita dan mekanisme yang sesuai dengan lingkungannya	
Sensasi	Game ini dapat membuat pemain merasa berperan sebagai tokoh utama dalam game	
Tantangan	Game ini memiliki rintangan dengan tingkat kesulitan yang berbeda di setiap skenario mitigasi	
Misteri	Game ini memiliki daya tarik untuk meningkatkan motivasi pemain untuk bermain	
Total		

Adapun Instrumen pengujian developer dapat dilihat pada tabel 3.15 dengan item setiap faktor hanya 1 saja yang berupa kesimpulan point setiap faktor seperti pada penelitian (Shi & Shih, 2015). Kolom nilai untuk jawaban dari peryataan pada setiap item dan kolom total untuk menunjukkan skor jawaban Ya (Y) yang bernilai 1 dan Tidak (T) yang bernilai 0 dari keseluruhan jawaban pernyataan.

Teknik statistika yang digunakan untuk menghitung nilai dari playtesting berdasarkan hasil pengujian menggunakan instrumen tersebut menggunakan rumus prosentase seperti persamaan berikut.

$$P = \frac{f}{n} 100\% \quad (3.6)$$

Keterangan:

P = Persentase

f = Frekuensi dari setiap jawaban yang dipilih

n = Jumlah

100% = Konstanta

(Bungin, 2010)

Untuk mengukur nilai *playtesting* pada gim dapat dilihat pada kategori kelayakan dapat dilihat pada Tabel 3.16.

Tabel 3. 16 Kategori Kelayakan

No	Kategori	Persentase
1	Sangat Layak	81% - 100%
2	Layak	61% - 80%
3	Cukup Layak	41% - 60%
4	Tidak Layak	21% - 40%
5	Sangat Tidak Layak	<21%

3.5.2 Pengujian Pengguna

Untuk mengukur tingkat kepuasan pengguna, dilakukan pengujian Usability dengan media penyeberan kuesioner SUS (*System Usability Testing*) (Karami et al., 2024). Dengan terdiriti atas 10 instrumen pertanyaan seperti yang tertera pada tabel 3.17 yang nantinya akan disebar kepada para responden pengguna *game Malang Urban Heat*.

Tabel 3. 17 Pertanyaan untuk Responden

No	Pernyataan	Komponen
Q1	Saya merasa <i>game</i> ini mudah untuk digunakan	<i>Learnability</i>
Q2	Saya merasa <i>game</i> ini rumit untuk dimainkan	<i>Efficiency</i>
Q3	Saya merasa fitur-fitur <i>game</i> ini berjalan sebagaimana mestinya	<i>Efficiency</i>
Q4	Saya membutuhkan bantuan dari orang lain atau operator dalam memainkan <i>game</i> ini.	<i>Error</i>
Q5	Saya merasa orang lain akan memahami cara menggunakan <i>game</i> ini dengan cepat	<i>Memorability</i>
Q6	Saya merasa tampilan atau aturan <i>game</i> ini tidak konsisten (berubah-ubah)	<i>Error</i>
Q7	Saya merasa mendapatkan pengetahuan (mitigasi) UHI yang bermanfaat dari <i>game</i> ini	<i>Satisfaction</i>
Q8	Saya merasa <i>game</i> ini membingungkan	<i>Learnability</i>
Q9	Saya berpikir akan memainkan <i>game</i> ini lagi	<i>Satisfaction</i>

No	Pernyataan	Komponen
Q10	Saya perlu membiasakan diri terlebih dahulu sebelum bisa lancar memainkan <i>game</i> ini	<i>Memorability</i>

Instrumen pertanyaan pada tabel 3.17 memiliki peran penting dalam selama proses pengujian. Sehingga diharapkan dapat menjadi media dalam mengevaluasi aspek usability pada permainan yang telah disajikan.

3.5.3 Pengujian *Pre-Test* dan *Post-Test*

Pengujian untuk mengukur pemahaman pengguna terhadap fenomena UHI dilakukan menggunakan 2 pengujian yaitu *Pre-Test* yang diberikan kepada pengguna sebelum memainkan *game* “Malang Urban Heat” dan *Post-Test* yang diberikan setelah memainkan *game* “Malang Urban Heat”. Perbandingan antara hasil *pre-test* dan *post-test* digunakan untuk mengukur peningkatan pengetahuan dari pengguna terkait materi yang diberikan (Mursyidah, 2025). Untuk instrumen pertanyaan *Pre-test* seperti yang ditampilkan pada tabel 3.18 sebanyak 14 pertanyaan.

Tabel 3. 18 Pertanyaan Pre-Test

No	Pernyataan
Q1	Apakah Anda mengetahui istilah <i>Urban Heat Island</i> ?
Q2	Apakah Anda merasakan suhu udara di lingkungan Anda semakin panas dalam beberapa tahun terakhir?
Q3	Apakah menurut Anda lahan kosong yang gersang (tanpa tanaman) merupakan salah satu penyebab utama kenaikan suhu di suatu wilayah?
Q4	Apakah material keras seperti aspal dan beton menyerap panas lebih banyak dibandingkan tanah berumput?
Q5	Apakah Anda mengetahui bahwa tanaman menurunkan suhu lingkungan melalui proses penguapan air dari daun (<i>evapotranspirasi</i>)?
Q6	Apakah Anda mengetahui jenis pohon apa saja yang paling efektif untuk menurunkan suhu udara secara signifikan?
Q7	Apakah Pohon Tanjung sangat efektif menurunkan suhu karena memiliki tajuk (daun) yang sangat rimbun dan rapat?
Q8	Apakah Pohon Ketapang baik untuk mitigasi panas karena memiliki daun yang lebar dan berlapis?
Q9	Apakah Pohon Palem memiliki kemampuan menurunkan suhu yang lebih rendah dibandingkan pohon peneduh seperti Tanjung atau Ketapang?

No	Pernyataan
Q10	Apakah Pohon Cemara dapat menurunkan suhu lebih tinggi meskipun daunnya berbentuk jarum?
Q11	Apakah tanaman penutup tanah seperti Rumput Gajah efektif mengurangi pantulan panas matahari dari permukaan tanah?
Q12	Apakah Anda mengetahui tanaman Rumput Krokot (Portulaca) yang sering dianggap gulma dapat membantu menyerap panas?
Q13	Apakah menurut anda setiap tanaman memiliki kemampuan berbeda-beda dalam menurunkan suhu?
Q14	Apakah Anda merasa perlu adanya penambahan pohon peneduh di lingkungan tempat tinggal Anda?

Kemudian berikut untuk instrumen pertanyaan *Post-Test* seperti yang ditampilkan pada tabel 3.19.

Tabel 3. 19 Pertanyaan Post-Test

No	Pernyataan
Q1	Setelah anda memainkan <i>game</i> Malang Urban Heat Apakah Anda jadi mengetahui istilah <i>Urban Heat Island</i> ?
Q2	Apakah Anda merasakan suhu udara di lingkungan Anda semakin panas dalam beberapa tahun terakhir?
Q3	Setelah anda memainkan <i>game</i> Malang Urban Heat, Apakah Anda jadi tahu bahwa lahan kosong yang gersang (tanpa tanaman) merupakan salah satu penyebab utama kenaikan suhu di suatu wilayah?
Q4	Setelah anda memainkan <i>game</i> Malang Urban Heat, apakah anda menjadi tahu bahwa material keras seperti aspal dan beton menyerap panas lebih banyak dibandingkan tanah berumput?
Q5	Setelah anda memainkan <i>game</i> Malang Urban Heat Apakah Anda menjadi tahu bahwa tanaman menurunkan suhu lingkungan melalui proses penguapan air dari daun (evapotranspirasi)?
Q6	Setelah anda memainkan <i>game</i> Malang Urban Heat Apakah Anda menjadi tahu jenis pohon apa saja yang paling efektif untuk menurunkan suhu udara secara signifikan?
Q7	Setelah anda memainkan <i>game</i> Malang Urban Heat Apakah Pohon Tanjung sangat efektif menurunkan suhu karena memiliki tajuk (daun) yang sangat rimbun dan rapat?
Q8	Setelah anda memainkan <i>game</i> Malang Urban Heat Apakah Pohon Ketapang baik untuk mitigasi panas karena memiliki daun yang lebar dan berlapis?
Q9	Setelah anda memainkan <i>game</i> Malang Urban Heat Apakah Pohon Palem memiliki kemampuan menurunkan suhu yang lebih rendah dibandingkan pohon peneduh seperti Tanjung atau Ketapang?
Q10	Setelah anda memainkan <i>game</i> Malang Urban Heat Apakah Pohon Cemara dapat menurunkan suhu lebih tinggi meskipun daunnya berbentuk jarum?
Q11	Setelah anda memainkan <i>game</i> Malang Urban Heat Apakah tanaman penutup tanah seperti Rumput Gajah efektif mengurangi pantulan panas matahari dari permukaan tanah?
Q12	Setelah anda memainkan <i>game</i> Malang Urban Heat Apakah Anda mengetahui tanaman Rumput Krokot (Portulaca) yang sering dianggap gulma dapat membantu menyerap panas?
Q13	Setelah anda memainkan <i>game</i> Malang Urban Heat Apakah menurut anda setiap tanaman memiliki kemampuan berbeda-beda dalam menurunkan suhu?
Q14	Setelah anda memainkan <i>game</i> Malang Urban Heat Apakah Anda merasa perlu adanya penambahan pohon peneduh di lingkungan tempat tinggal Anda?

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Perhitungan Metode

Dalam game simulasi "Malang Urban Heat", pemain memilih strategi mitigasi untuk mengurangi dampak *Urban Heat Island* (UHI) berdasarkan data seperti suhu dan kualitas udara. Setiap skenario mitigasi, seperti taman atau vegetasi penutup lahan, dievaluasi menggunakan metode MOORA *Rule Based* untuk menentukan solusi terbaik. Perhitungan dilakukan dengan mengintegrasikan data dalam sistem pendukung keputusan (DSS) berbasis MOORA *Rule Based*. Hasil perhitungan divisualisasikan dalam game, memberi pemain gambaran tentang dampak keputusan mitigasi yang mereka pilih.

4.1.1 Implementasi Perhitungan MOORA

1. Inisialisasi Data

```
Pseudocode 4. 1 Organize Area
ALGORITHM Initialize_Decision_Matrix
    INPUT: None
    OUTPUT: Decision Matrix (X)

    BEGIN // Inisialisasi matriks keputusan X dengan ukuran
          // m=4 (alternatif) dan n=9 (kriteria)

        // Alternatif: OR1, OR2, OR3, OR4

        SET X_organize[1] TO [3.00, 2.67, 3.43, 1.0, 1.0, 1.0,
        0.2, 0.2, 0.2] // Data untuk OR1
        SET X_organize[2] TO [2.46, 3.08, 3.73, 540, 965, 1.0, 0.2,
        0.2, 0.2] // Data untuk OR2
        SET X_organize[3] TO [2.69, 3.14, 3.97, 792, 1.0, 1.0, 0.2,
        0.2, 0.2] // Data untuk OR3
        SET X_organize[4] TO [2.95, 2.70, 3.50, 504, 1.0, 1.0, 0.2,
        0.2, 0.2] // Data untuk OR4

    RETURN X_organize
END
```

Pseudocode 4. 2 Organic Area

```

ALGORITHM Initialize_Organic_Data
    INPUT: None
    OUTPUT: Organic Decision Matrix (X_organic)

    BEGIN
        // Inisialisasi matriks keputusan untuk area
Organic
        // Alternatif: OG1, OG2, OG3, OG4
        // Kolom merepresentasikan nilai kriteria (C1
sampai C9)

    CREATE Matrix X_organic with size [4][9]

    SET X_organic[1] TO [3.44, 3.31, 3.81, 1.0, 415, 1.0, 0.2,
0.2, 0.2] // Data OG1
    SET X_organic[2] TO [3.35, 2.85, 3.95, 1.0, 101, 1.0, 0.2,
0.2, 0.2] // Data OG2
    SET X_organic[3] TO [3.48, 2.97, 3.74, 1.0, 86, 1.0, 0.2,
0.2, 0.2] // Data OG3
    SET X_organic[4] TO [3.52, 3.16, 3.87, 1.0, 53, 1.0, 0.2,
0.2, 0.2] // Data OG4

    RETURN X_organic
    END

```

Sistem memproses dua set data input yang berbeda, yaitu Organize Data dan Organic Data. Dalam struktur algoritma, kedua data ini didefinisikan sebagai array dua dimensi (matriks) yang masing-masing berisi empat alternatif (OR1-OR4 dan OG1-OG4). Setiap alternatif memiliki sembilan parameter. Parameter-parameter tersebut mencakup variabel keputusan krusial seperti nilai efisiensi dan biaya, yang akan dinormalisasi berdasarkan jenis kriterianya (*benefit* atau *cost*) pada tahapan kalkulasi berikutnya.

2. Pembobotan

Pseudocode 4. 3 Pembobotan Organize

```

ALGORITHM Initialize_Weights_Organize
    INPUT: None
    OUTPUT: Organize Weight Vector
(W_organize)
    BEGIN

```

```

        // Inisialisasi bobot kriteria untuk
area Organize
        // Jumlah total bobot harus sama
dengan 1 (jika ternormalisasi)
        // Terdiri dari 9 bobot untuk 9
kriteria (C1 - C9)
        SET W_organize TO [0.0421, 0.0262,
0.0123, 0.3143, 0.2032, 0.1477, 0.1106,
0.0828, 0.0606]
        RETURN W_organize
END

```

Pseudocode 4. 4 Pembobotan Organic

```

ALGORITHM Initialize_Weights_Organic
INPUT: None
OUTPUT: Organic Weight Vector (W_organic)

BEGIN
    // Inisialisasi vektor bobot untuk skenario
Organic
    // Urutan bobot disesuaikan dengan
prioritas kriteria pada area ini
    // Terdiri dari 9 elemen
    SET W_organic TO [0.0421, 0.0262, 0.0123,
0.1106, 0.0828, 0.0606, 0.3143, 0.2032, 0.1477]
    RETURN W_organic
END

```

Bobot digunakan untuk menentukan pentingnya setiap parameter dalam evaluasi. Kode ini menggunakan dua array bobot: bobot *organize* dan bobot *organic*. Bobot ini berfungsi untuk memberikan nilai prioritas pada setiap parameter, yang mempengaruhi bagaimana parameter tersebut berkontribusi dalam proses optimisasi dan evaluasi area.

Pseudocode 4. 5 Evaluasi Kriteria

```

ALGORITHM Define_Criteria_Types
INPUT: None
OUTPUT: Sets of Benefit and Cost Indices
BEGIN
    // Mengklasifikasikan indeks kriteria berdasarkan
tujuan optimasi
    // Benefit: Semakin besar nilai, semakin baik
(Maximize)
    // Cost: Semakin kecil nilai, semakin baik
(Minimize)
    // Indeks array (0-based) 2 s.d 8 adalah Benefit
SET Benefit_Indices TO [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]
    // Indeks array (0-based) 0 dan 1 adalah Cost

```

```

SET Cost_Indices TO [0, 1]

RETURN Benefit_Indices, Cost_Indices
END

```

Kriteria evaluasi dibagi menjadi dua jenis, yaitu *Benefit* dan *Cost*. Kriteria *Benefit* mengharuskan nilai parameter semakin tinggi semakin baik, sedangkan kriteria *Cost* mengharuskan nilai parameter semakin rendah semakin baik. Kriteria ini disimpan dalam array kriteria *benefit* dan kriteria *cost* yang digunakan untuk menghitung hasil optimisasi.

3. Normalisasi Data

Pseudocode 4. 6 Normalisasi Data

```

FUNCTION Calculate_Normalization_Divisors(Matrix X)
    INPUT: Decision Matrix X [m rows, n columns]
    OUTPUT: Divisor Vector N [size n]
    BEGIN
        // Inisialisasi array untuk menyimpan pembagi setiap kolom
        CREATE Array N with size n
        // Iterasi setiap kolom (kriteria) j dari 0 sampai n-1
        FOR j FROM 0 TO n-1 DO:
            SET columnSum = 0.0
            // Iterasi setiap baris (alternatif) i dari 0 sampai m-1
            FOR i FROM 0 TO m-1 DO:
                // Ambil nilai matriks dan kuadratkan
                // Menggunakan perkalian langsung (val * val) untuk
                presisi
                SET value = CAST_TO_DOUBLE(X[i, j])
                SET squaredValue = value * value
                // Akumulasi jumlah kuadrat
                ADD squaredValue TO columnSum
            END FOR
            // Hitung akar kuadrat dari total sum untuk kolom j
            N[j] = SQRT(columnSum)
        END FOR
        RETURN N
    END FUNCTION

```

Fungsi ini bertugas untuk menormalkan data agar parameter dengan skala yang berbeda dapat dibandingkan secara adil. Normalisasi dilakukan

dengan menghitung akar kuadrat dari jumlah kuadrat setiap kolom, yang mengubah data menjadi skala yang setara sehingga bisa digunakan dalam perhitungan lebih lanjut.

4. Normalisasi Terbobot

Pseudocode 4. 7 Normalisasi terbobot

```

FUNCTION Calculate_Weighted_Normalized_Matrix(Matrix X,
Vector W)
    INPUT:
        - Decision Matrix X [m rows, n columns]
        - Weight Vector W [size n]
    OUTPUT:
        - Weighted Normalized Matrix R [m rows, n columns]
    BEGIN
        // Langkah 1: Panggil fungsi sebelumnya untuk
        mendapatkan pembagi (divisor)
        SET Divisors = CALL NormalizeData(X)
        // Langkah 2: Inisialisasi matriks hasil
        CREATE Matrix R with size [m] [n]
        // Langkah 3: Iterasi setiap elemen matriks
        FOR i FROM 0 TO m-1 DO:           // Loop baris
        (alternatif)
            FOR j FROM 0 TO n-1 DO: // Loop kolom
            (kriteria)
                // Hitung nilai ternormalisasi ( $X_{ij} / \text{Divisor}_j$ )
                // Kemudian kalikan dengan bobot kriteria ( $W_j$ )
            SET normalized_val = CAST_TO_DOUBLE(X[i, j]) / Divisors[j]
            SET R[i, j] = normalized_val * CAST_TO_DOUBLE(W[j])
            END FOR
        END FOR
        RETURN R
    END FUNCTION

```

Fungsi ini mengkombinasikan normalisasi data dengan bobot yang telah ditentukan. Setiap elemen dalam data dibagi dengan nilai normalisasi yang sesuai, kemudian dikalikan dengan bobot masing-masing parameter. Hasilnya adalah matriks data berbobot yang digunakan untuk mengevaluasi dan membandingkan area berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan.

5. Kalkulasi Nilai Preferensi

Pseudocode 4.8 Nilai Preferensi

```

FUNCTION Calculate_Optimization_Value(index_i, is_organic)
    INPUT:
    - index_i: Index of the alternative being evaluated
    - is_organic: Boolean flag to select scenario
    OUTPUT:
    - y_i: MOORA Optimization Value for alternative i
    BEGIN
        // Langkah 1: Seleksi Dataset dan Bobot berdasarkan
        Skenario
        IF is_organic IS TRUE THEN
            SET Current_Data = Organic_Data
            SET Current_Weights = Organic_Weights
        ELSE
            SET Current_Data = Organize_Data
            SET Current_Weights = Organize_Weights
        END IF
        // Langkah 2: Dapatkan Matriks Ternormalisasi
        Terbobot (R)
        // Memanggil fungsi WeightedNormalizedData yang
        didefinisikan sebelumnya
        SET R = CALL
        Calculate_Weighted_Normalized_Matrix(Current_Data,
        Current_Weights)
        // Langkah 3: Hitung Jumlah Benefit (Maximize)
        SET Sum_Benefit = 0.0
        FOR EACH index j IN Benefit_Criteria_Indices DO:
            // Tambahkan nilai R[i, j] ke total benefit
            ADD R[index_i, j] TO Sum_Benefit
        END FOR
        // Langkah 4: Hitung Jumlah Cost (Minimize)
        SET Sum_Cost = 0.0
        FOR EACH index j IN Cost_Criteria_Indices DO:
            // Tambahkan nilai R[i, j] ke total cost
            ADD R[index_i, j] TO Sum_Cost
        END FOR
        // Langkah 5: Kalkulasi Nilai Akhir (Persamaan
        MOORA)
        SET y_i = Sum_Benefit - Sum_Cost

        RETURN y_i
    END FUNCTION

```

Fungsi ini menghitung skor preferensi untuk area tertentu dengan cara menjumlahkan nilai dari kriteria *benefit* dan mengurangkan dengan jumlah nilai kriteria *cost*. Hasilnya adalah skor yang menunjukkan tingkat optimalitas area berdasarkan perhitungan *benefit* dan *cost*.

6. Normalisasi Nilai Preferensi

Pseudocode 4. 9 Nilai Preferensi

```

FUNCTION Map_Value_Range(value, min_in, max_in, min_out, max_out)
    INPUT:
        - value: The MOORA preference score to be converted
        - min_in, max_in: The range of the input data
        - min_out, max_out: The desired range for the game
    parameter
    OUTPUT:
        - mapped_value: The result in the new scale
    BEGIN
        // Hitung rasio normalisasi dari nilai input (0.0 sampai
        1.0)
        SET ratio = (value - min_in) / (max_in - min_in)
        // Skalakan rasio ke rentang output dan geser sesuai
        min_out
        SET mapped_value = (ratio * (max_out - min_out)) + min_out
        RETURN mapped_value
    END FUNCTION

```

Fungsi ini menghitung nilai normalisasi dari area yang dipilih dengan cara menormalisasikan terhadap nilai dari aturan *rule-based*. Hasilnya nilai normalisasi dari area yang dipilih akan dijadikan sebagai nilai *input* untuk perhitungan *rule-based* dalam menentukan skenario mitigasi.

4.1.2 Implementasi *Rule-Based System*

Pseudocode 4. 10 Rule Base System

```

ALGORITHM Determine_Mitigation_Category
    INPUT: Normalized_Input (v)
    OUTPUT: Category_String (S)

    CONSTANTS:
        CUTOFF_1 = 0.175 // Batas atas untuk Penutupan Lahan
        CUTOFF_2 = 0.265 // Batas atas untuk Koridor

    BEGIN
        // Evaluasi kategori berdasarkan batasan nilai (Rule-
        Based)

        IF v <= CUTOFF_1 THEN
            SET S = "Penutupan Lahan"

        ELSE IF v <= CUTOFF_2 THEN
            // Kondisi ini implisit: 0.175 < v <= 0.265
            SET S = "Koridor"

        ELSE
            // Kondisi ini implisit: v > 0.265
            SET S = "Taman"

```

```

END IF

RETURN S
END FUNCTION

```

Modul RuleBasedSystem dirancang untuk memetakan domain nilai kontinu hasil perhitungan menjadi himpunan kategori diskrit yang dapat diproses oleh sistem permainan. Stabilitas logika sistem dijaga melalui penetapan batasan nilai statis (0.175 dan 0.265) yang merepresentasikan titik potong transisi antar skenario.

Secara operasional, fungsi inferensi utama (GetFormattedCategoryString) bertugas melakukan evaluasi kondisional. Sistem membandingkan nilai input (nilaiMitigasi) terhadap konstanta batas menggunakan logika if-else. Proses klasifikasi ini memastikan bahwa setiap rentang nilai numerik diterjemahkan secara konsisten ke dalam salah satu dari tiga skenario mitigasi: Penutupan Lahan, Koridor, atau Taman.

4.2 Pengujian Sistem

Setelah sistem diimplementasikan, tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian dengan melibatkan pengguna, pakar di bidang game, serta ahli *Urban Heat Islands*. Pengujian ini dilakukan dengan meminta mereka memainkan *game* yang telah dikembangkan untuk memastikan bahwa sistem pendukung keputusan yang dirancang berfungsi sesuai dengan yang diharapkan dan mitigasi *Urban Heat Island* sesuai.

4.2.1 Uji Coba Hasil Pada Game

4.2.1.1 Hasil Perhitungan MOORA

Pada tahap uji coba pemain akan memilih area, proses perhitungan MOORA terjadi ketika game baru dimulai. Nilai dari setiap area akan disimpan pada *button* untuk dinormalisasi dan dijadikan sebagai nilai input *Rule Based* guna menentukan skenario mitigasi.



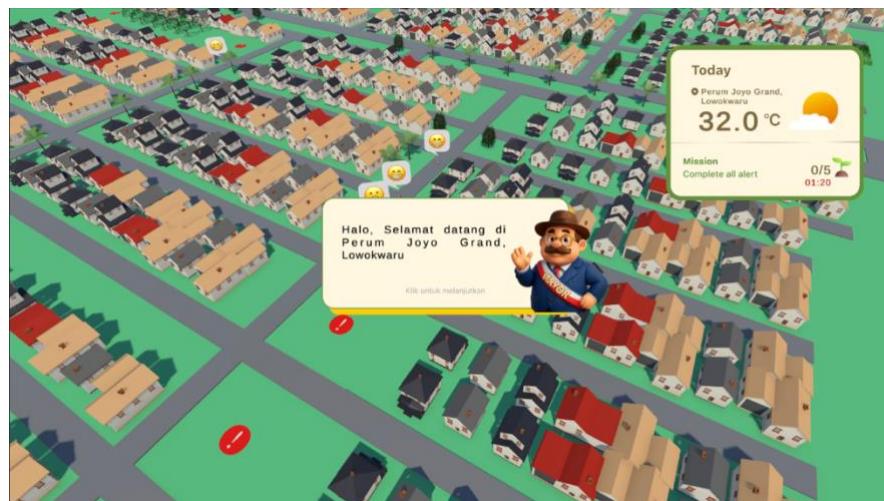
Gambar 4. 1 Pemilihan Area

```
[11:15:31] **Nilai Preferensi** untuk area 0 (isOrganic: False): **0.172415452411502**  
UnityEngine.Debug:Log (object)  
[11:15:31] **Nilai Preferensi** untuk area 1 (isOrganic: False): **0.534601988497568**  
UnityEngine.Debug:Log (object)  
[11:15:31] **Nilai Preferensi** untuk area 2 (isOrganic: False): **0.403128686893528**  
UnityEngine.Debug:Log (object)  
[11:15:31] **Nilai Preferensi** untuk area 3 (isOrganic: False): **0.31876731068477**  
UnityEngine.Debug:Log (object)  
[11:15:31] **Nilai Preferensi** untuk area 0 (isOrganic: True): **0.467576086836385**  
UnityEngine.Debug:Log (object)  
[11:15:31] **Nilai Preferensi** untuk area 1 (isOrganic: True): **0.411039025005198**  
UnityEngine.Debug:Log (object)  
[11:15:31] **Nilai Preferensi** untuk area 2 (isOrganic: True): **0.406565019741801**  
UnityEngine.Debug:Log (object)  
[11:15:31] **Nilai Preferensi** untuk area 3 (isOrganic: True): **0.399490517464825**  
UnityEngine.Debug:Log (object)
```

Gambar 4. 2 Nilai Preferensi MOORA

4.2.1.2 Hasil Perhitungan MOORA

Pada saat pemain memasuki map yang dipilih, maka keputusan skenario mitigasi akan ditampilkan pada *textbox* yang juga berisi arahan untuk jalannya permainan.



Gambar 4. 3 Tampilan Instruksi



Gambar 4. 4 Keputusan skenario mitigasi

Setelah keputusan didapatkan, maka akan muncul opsi tanaman sesuai dengan skenario mitigasi. Opsi ini disertai dengan angka penurunan suhu agar pemain dapat memilih tanaman yang diinginkan.



Gambar 4. 5 Pemilihan Tanaman

Setelah pemain menuntaskan semua *alert* yang telah ditetapkan, maka akan muncul UI yang menunjukkan bahwa misi telah berhasil. Pada gambar 4.6 menunjukkan total dari penurunan suhu yang berhasil dilakukan oleh pemain dan menunjukkan perolehan bintang berdasarkan total penurunan suhu.



Gambar 4. 6 Misi Berhasil

Namun jika pemain gagal menuntaskan semua alert selama durasi permainan, maka akan muncul UI yang menyatakan bahwa pemain telah kehabisan waktu

bermain. Pada gambar 4.7 menunjukkan total penurunan suhu dan perolehan bintang yang telah didapatkan oleh pemain.



Gambar 4. 7 Misi Gagal

4.2.2 Hasil Pengujian Pada Developer

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Developer

	Q1	Q2	A3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Total
A1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	8
A2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9
A3	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	8
A4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
A5	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	6
A6	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	8
A7	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	9

Berdasarkan pengujian *developer* dengan total responden sebanyak 7 *developer* yang dilambangkan dengan “A”, maka didapatkan total skor pengujian yaitu 58 dari total skor yang diharapkan yaitu 70. Didapatkan nilai “Y” yang berarti Ya sebanyak 58 dan nilai “T” yang berarti Tidak sebanyak 12. Rumus perhitungan untuk mengetahui nilai *playtesting developer* menggunakan persamaan berikut:

$$p = \frac{f}{n} 100\% = \frac{58}{70} 100\% = 82,85\%$$

Maka berdasarkan perhitungan rumus di atas, nilai *playtesting* untuk *developer* yaitu 82,85% dengan kategori sangat layak.

4.2.3 Hasil Pengujian Pengguna System Usability Scale

Untuk mengevaluasi pengalaman pengguna dalam game, pengujian usability dilakukan dengan menggunakan sistem pernyataan berdasarkan komponen-komponen utama dalam evaluasi kegunaan. Dalam hal ini, pengujian dibagi ke dalam beberapa kategori yang meliputi Learnability (kemampuan memahami), Efficiency (efisiensi), Memorability (kemampuan mengingat), Error (kesalahan), dan Satisfaction (kepuasan). Pembagian ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai bagian mana saja yang perlu diperbaiki atau dipertahankan dalam desain game agar pengalaman pengguna dapat ditingkatkan. Berikut adalah pembagian pernyataan SUS kedalam komponen tersebut.

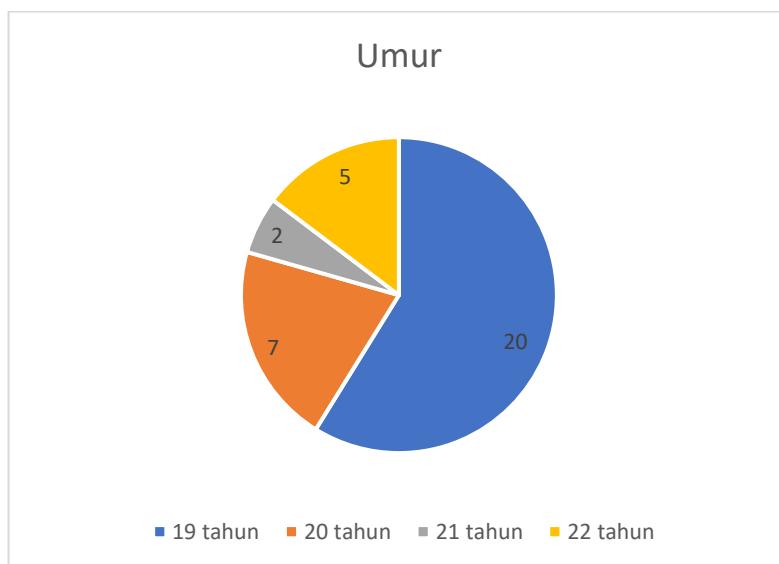
Tabel 4. 2 Instrumen Pengujian SUS

No	Pernyataan	Komponen
Q1	Saya berpikir akan memainkan game ini lagi	<i>Satisfaction</i>
Q2	Saya merasa game ini rumit untuk dimainkan	<i>Efficiency</i>
Q3	Saya merasa game ini mudah untuk digunakan	<i>Learnability</i>
Q4	Saya membutuhkan bantuan dari orang lain atau teknisi dalam memainkan game ini	<i>Error</i>
Q5	Saya merasa fitur-fitur game ini berjalan semestinya	<i>Efficiency</i>
Q6	Saya merasa ada banyak hal yang tidak konsisten (tidak serasi) pada game ini	<i>Error</i>
Q7	Saya merasa orang lain akan memahami cara menggunakan game ini dengan cepat	<i>Memorability</i>
Q8	Saya merasa game ini membingungkan	<i>Learnability</i>
Q9	Saya merasa tidak ada hambatan dalam memainkan game ini	<i>Satisfaction</i>
Q10	Saya perlu membiasakan diri terlebih dahulu sebelum memainkan game ini	<i>Memorability</i>

Berdasarkan Tabel 4.2 diatas, akan dinilai menggunakan skala likert 1-5 yaitu angka “1” untuk menunjukkan sangat tidak setuju dan angka “5” menunjukkan sangat

setuju. Responden dalam penelitian ini berjumlah 27 responden dengan asal instansi UIN Malang.

Dari gambar 4. rentang usia responden berkisar 19 hingga 22 tahun, dengan didominasi umur 19 tahun sebanyak 20 responden. Data ini sebagaimana yang didistribusikan pada diagram pie di bawah ini.



Gambar 4. 8 Frekuensi Umur Responden

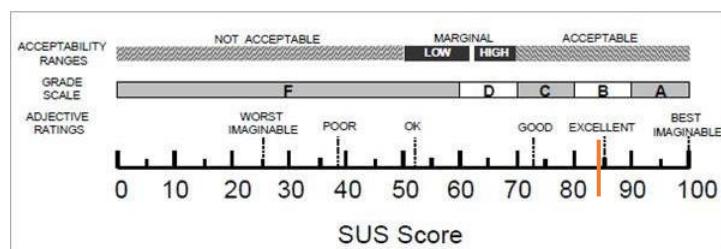
Setelah responden bermain game “Malang Urban Heat”, responden mengisi kuesioner SUS. Data yang dikumpulkan dari responden, lalu dilakukan perhitungan skor SUS dengan aturan yaitu, untuk pernyataan bernomor ganjil, skor dikurangi 1, sementara untuk pertanyaan bernomor genap, skor dihitung dengan mengurangkan nilai 5 dari skor responden. Skor SUS diperoleh dengan menjumlahkan skor setiap pernyataan dan mengalikannya dengan 2,5. Perhitungan ini berlaku untuk setiap responden.

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan SUS

Responden	Total Skor Responden	Skor SUS
Responden 1	35	87,5
Responden 2	23	57,5
Responden 3	40	100

Responden	Total Skor Responden	Skor SUS
Responden 4	28	70
Responden 5	32	80
Responden 6	29	72,5
Responden 7	33	82,5
Responden 8	30	75
Responden 9	26	65
Responden 10	39	97,5
Responden 11	28	70
Responden 12	29	72,5
Responden 13	29	72,5
Responden 14	34	85
Responden 15	27	67,5
Responden 16	30	75
Responden 17	28	70
Responden 18	32	80
Responden 19	36	90
Responden 20	33	82,5
Responden 21	32	80
Responden 22	29	72,5
Responden 23	31	77,5
Responden 24	27	67,5
Responden 25	30	75
Responden 26	29	72,5
Responden 27	29	72,5
Total Skor SUS		2070
Rata-rata skor SUS		76,66

Setelah dihitung, diperoleh skor rata-rata SUS dari seluruh responden. Skor ini kemudian disesuaikan dengan sistem penilaian SUS. Data pada Tabel 4.3 diatas mendapatkan skor rata-rata yaitu 76,66, maka skor tersebut masuk dalam kategori “GOOD” dengan grade scale C.



Gambar 4. 9 Skor SUS

Berdasarkan Gambar 4. grafik ini menunjukkan bahwa SUS score di angka 76,66 dianggap “Good” dan berada pada rentang “*Acceptable*”, yang berarti sistem tersebut dapat diterima oleh pengguna. Dari nilai System Usability Scale (SUS) yang diperoleh, selanjutnya dilakukan analisis untuk mendistribusikan jumlah jawaban dari masing-masing pernyataan. Dengan kategori pernyataan positif (Q1, Q3, Q5, Q7, Q9) dan pernyataan negatif (Q2, Q4, Q6, Q8, Q10).

Tabel 4. 4 Kategori Penilaian

Kategori	Pertanyaan									
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
Sangat Setuju	13	1	11	1	13	0	18	1	2	9
Setuju	11	2	10	0	13	1	6	1	9	3
Netral	1	6	5	4	1	4	3	2	13	6
Tidak Setuju	1	6	0	8	0	10	0	8	3	6
Sangat Tidak Setuju	1	12	1	14	0	12	0	15	0	3

Berdasarkan Tabel 4.4 yang menunjukkan hasil jumlah jawaban per pernyataan berdasarkan kategori Sangat Setuju, Setuju, Netral, Tidak Setuju, dan Sangat Tidak Setuju.

4.2.4 Hasil Pengujian *Pres Test* dan *Post Test*

Untuk memjudikan tujuan edukasi terkait mitigasi UHI, maka dilakukan evaluasi berupa *pre-test* dan *post-test* untuk mengetahui sejauh mana pengetahuan responden baik sebelum atau sesudah bermain game simulasi ini. Dengan jumlah sampel sebanyak 27 responden, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4. 5 Data Tabulasi Pre-Test dan Post-Test

Responden	Skor Pemahaman UHI		Selisih Skor
	Pre-Test	Post-Test	
Responden 1	5	8	3
Responden 2	6	14	8
Responden 3	7	7	0
Responden 4	8	13	5
Responden 5	11	13	2
Responden 6	9	13	4

Responden	Skor Pemahaman UHI		Selisih Skor
	Pre-Test	Post-Test	
Responden 7	9	10	1
Responden 8	10	13	3
Responden 9	9	14	5
Responden 10	9	10	1
Responden 11	4	14	10
Responden 12	8	11	3
Responden 13	6	12	6
Responden 14	8	10	2
Responden 15	8	9	1
Responden 16	6	13	7
Responden 17	4	9	5
Responden 18	13	14	1
Responden 19	8	12	4
Responden 20	12	13	1
Responden 21	10	12	2
Responden 22	11	14	3
Responden 23	9	14	5
Responden 24	8	14	6
Responden 25	12	14	2
Responden 26	14	14	0
Responden 27	8	14	6
Total	232	328	96
Rata-Rata	8,59	12,14	3,55

Tabel 4.6 di atas menunjukkan bahwa rata-rata skor pemahaman UHI responden setelah bermain *game (Malang Urban Heat)* memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan dengan responden ketika sebelum bermain *game*. Sehingga menunjukkan adanya peningkat terkait pemahaman UHI setelah bermain *game* yaitu sebesar 3,55.

4.2.5 Review Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian developer dengan pengguna yang telah dilakukan, maka didapatkan hasil pengujian *developer* sebesar 82,85%, sedangkan untuk pengujian pengguna dengan SUS, mendapatkan skor 76,66 dengan range persentase berkisar 77-78%. Penilaian antara *developer* dengan pengguna memiliki selisih persepsi penilaian berkisar 3,85-4,85%. Selain itu terdapat pengujian untuk

mengukur tingkat pemahaman pengguna tentang mitgasi UHI setelah bermain game, yaitu menunjukkan adanya peningkatan dari sebelum dan sesudah bermain yaitu sebesar 3,55.

4.3 Integrasi Sains dan Islam

Game yang dikembangkan tidak hanya berfokus pada aspek edukasi terkait pemilihan jenis tanaman untuk mitigasi Urban Heat Island (UHI), tetapi juga mengintegrasikan nilai-nilai Islam yang mengajarkan manusia untuk menjaga alam dan memberikan manfaat kepada sesama.

4.3.1 Muamalah Ma'a Allah

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاحْتِلَفُوا بِالْجَنَّاتِ الَّتِي بَعْرَى فِي الْبَحْرِ إِمَّا يَنْفَعُ النَّاسَ وَمَا أَنْزَلَ اللَّهُ مِنَ السَّمَاءِ إِمَّا فَأَمْرٌ بِالْأَرْضِ بَعْدَ مَوْقِعِهَا وَبَثَّ فِيهَا مِنْ كُلِّ دَابَّةٍ وَتَصْرِيفِ الْرِّيحِ وَالسَّحَابِ الْمُسَحَّرِ بَيْنَ السَّمَاءِ وَالْأَرْضِ لَعَلَيْتَ يَقُولُونَ

“Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, silih bergantinya malam dan siang, bahtera yang berlayar di laut membawa apa yang berguna bagi manusia, dan apa yang Allah turunkan dari langit berupa air, lalu dengan air itu Dia hidupkan bumi sesudah mati (kering)-nya dan Dia sebarluaskan di bumi itu segala jenis hewan, dan pengisaran angin dan awan yang dikendalikan antara langit dan bumi; sungguh (terdapat) tanda-tanda (keesaan dan kebesaran Allah) bagi kaum yang memikirkan.” (QS. Al-Baqarah: 164)

Dalam tafsir Al-Wajiz surah Al Baqarah : 164 tersebut, penciptaan langit yang luas, bumi yang terbentang, pergantian malam dan siang, kapal yang berlayar, hujan yang menyuburkan bumi, beragam binatang yang tersebar, berbagai macam tumbuhan, angin yang berhembus, dan awan yang bergantung antara langit dan bumi, semua itu adalah tanda kebesaran Allah bagi mereka yang berpikir dan mengambil pelajaran (*Tafsir Wajiz Jilid I, Bagian 1, 2016*). Bahwasanya Allah telah

menciptakan langit dan bumi beserta isinya, sehingga kita sebagai manusia untuk dapat bisa berpikir dan mengambil pelajaran atas segala yang telah diciptakan Allah, seperti mensyukuri dan menjaga apa yang telah diberikan karen sudah menjadi bagian dari tanggung jawab kita. Sehingga dengan adanya *Game* terkait mitigasi ini, menjadi sarana edukasi bagi kita bahwasanya setiap langkah yang kita ambil dapat memberi dampak bagi lingkungan sekitar yang merupakan ciptaan dari Allah. Selain itu *game* ini juga mengedukasi pemain mengenai pentingnya memilih tanaman untuk mitigasi UHI, *game* ini membantu menciptakan kesadaran bahwa setiap keputusan yang diambil terkait alam adalah bagian dari tanggung jawab kita sebagai khalifah di bumi.

4.3.2 Muamalah Ma'a Al-A'lam

مَا مِنْ مُسْلِمٍ يَعْرِسُ عَرْسًا، أَوْ يَزْرِعُ زَرْعًا فَيُأْكُلُ مِنْهُ طَيْرٌ أَوْ إِنْسَانٌ أَوْ بَحِيمَةٌ إِلَّا كَانَ لَهُ بِهِ صَدَقَةٌ

“Tidaklah seorang muslim menanam pohon, tidak pula menanam tanaman kemudian pohon tanaman tersebut dimakan oleh burung, manusia atau binatang melainkan menjadi sedekah baginya.” (HR. Imam Bukhari hadits no.2321)

Tindakan ini sejalan dengan ajaran Islam tentang *muamalah ma'a al-A'lam*, di mana menjaga kelestarian alam dan memberi manfaat kepada sesama merupakan amal jariyah yang mendatangkan pahala, sesuai dengan tanggung jawab manusia sebagai khalifah di bumi. Tanaman yang memberikan naungan dan menurunkan suhu udara membawa manfaat langsung bagi kesejahteraan umat. Selain itu, menanam pohon dalam Islam dianggap sebagai amal jariyah, yang terus mendatangkan pahala, sebagaimana disebutkan dalam hadis Sahih Muslim.

Dalam konteks *game* ini dan fenomena *Urban Heat Island* (UHI), pemilihan tanaman untuk mereduksi suhu perkotaan dapat dipandang sebagai tindakan menanam pohon yang memberikan manfaat ekologis, seperti penurunan suhu dan peningkatan kenyamanan lingkungan.

4.3.3 Muamalah Ma'a An-Nas

Dalam konteks muamalah ma'a al-Nas (interaksi dengan sesama manusia), *game* ini mencerminkan ajaran Islam tentang memberi manfaat kepada sesama dan menjadi wadah untuk secara sadar dan tidak melakukan kerusakan di bumi serta menjaga apa yang telah dititipkan oleh Allah SWT. Seperti pada Q.S Ar Rum ayat 41 berikut:

ظَاهِرُ الْفَسَادِ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ إِمَّا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقُهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

“*Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan perbuatan tangan manusia. (Melalui hal itu) Allah membuat mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka agar mereka kembali (ke jalan yang benar).*” (QS. Ar Rum: 41)

Al-Maraghi menjelaskan ayat diatas bahwa orang-orang yang telah melakukan kerusakan baik di laut dan di bumi akan diperingatkan langsung oleh Allah, dunia dengan banjir, kekeringan, kekurangan pangan, kebakaran hutan. Agar mereka mau kembali ke jalan yang benar dan bertaubat, tetapi setelah Allah memberikan peringatan di dunia mereka tidak menghiraukannya, maka Allah memperingatkan mereka menunggu hari pembalasan (Maraghi, 2020).

Dalam *game* ini, para pemain diberi kesempatan untuk memperbaiki kerusakan tersebut melalui pemilihan jenis tanaman yang dapat mengurangi efek UHI. Pemilihan tanaman yang tepat adalah salah satu cara untuk memperbaiki

kerusakan yang terjadi akibat aktivitas manusia, seperti pembangunan yang tidak memperhatikan keberlanjutan lingkungan.

Dengan mengintegrasikan sains dan Islam, *game* ini tidak hanya memberikan pengetahuan tentang cara memilih tanaman untuk mitigasi UHI berdasarkan data ilmiah, tetapi juga menanamkan nilai-nilai Islam tentang tanggung jawab manusia terhadap alam dan sesama. Pemain diajak untuk memahami bahwa menjaga kelestarian bumi bukan hanya tugas ilmuwan atau pemerintah, tetapi juga tugas setiap individu sebagai bagian dari umat manusia yang diberi amanah oleh Allah SWT. Melalui *game* ini, pemain dapat merasakan bahwa tindakan mereka dalam memilih tanaman untuk mitigasi UHI adalah bagian dari amal jariyah yang bermanfaat bagi sesama dan alam.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini mengembangkan sebuah *game* simulasi bernama "Malang Urban Heat" yang berperan sebagai media edukasi dan instrumen pendukung keputusan untuk mitigasi *Urban Heat Island* (UHI) di Kota Malang. Melalui pendekatan sistem pendukung keputusan, penelitian ini mengintegrasikan metode *Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis* (MOORA) untuk mengolah data kompleks dari delapan wilayah studi kasus berdasarkan sembilan kriteria lingkungan, yang kemudian diproses lebih lanjut menggunakan *Rule-Based System*. Mekanisme komputasi ini bekerja secara bertahap untuk merekomendasikan skenario mitigasi yang paling sesuai dengan karakteristik wilayah baik kawasan terencana (*Organize*) maupun tidak terencana (*Organic*) berupa opsi Penutupan Lahan, Koridor, atau Taman.

Berdasarkan serangkaian pengujian yang telah dilakukan untuk memvalidasi sistem, *game* ini menunjukkan kinerja yang efektif, ditandai dengan penilaian *developer* sebesar 82,85% (Sangat Layak) dan skor *usability* pengguna sebesar 76,66 (*Good*), yang mengindikasikan bahwa sistem ini layak dan dapat diterima dengan baik sebagai media simulasi mitigasi lingkungan.

5.2 Saran

Mengacu pada hasil yang diperoleh serta mempertimbangkan sejumlah keterbatasan dalam penelitian ini, maka beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Penambahan Variabel Mitigasi Saat ini, strategi mitigasi dalam *game* dibatasi pada aspek infrastruktur hijau (vegetasi). Pengembangan selanjutnya dapat menambahkan variabel mitigasi fisik lainnya, seperti penggunaan material bangunan yang memantulkan panas (*cool roofs* atau *cool pavements*) dan manajemen tata air, sebagaimana referensi literatur yang menyebutkan bahwa material reflektif juga efektif menurunkan suhu permukaan.
2. Peningkatan interaksi dan visualisasi dalam *game* untuk meningkatkan pengalaman pengguna, hal ini mengacu pada hasil SUS instrument pengujian Q10 terkait perlunya pembiasaan dari pemain untuk memainkan *game* ini. Penambahan rintangan dengan Tingkat kesulitan yang berbeda pada setiap scenario mitigasi sehingga dapat menambah daya tarik untuk *game* ini. Hal ini berkorelasi dengan pengujian developer instrument pengujian Q9 dan Q10 yang bernilai rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Asadi, A., Arefi, H., & Fathipoor, H. (2020). Simulation of green roofs and their potential mitigating effects on the urban heat island using an artificial neural network: A case study in Austin, Texas. *Advances in Space Research*, 66(8), 1846–1862.
- BPS. (2020). *Persentase Penduduk Daerah Perkotaan Hasil Proyeksi Penduduk menurut Provinsi, 2015 - 2035*. Badan Pusat Statistik. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/MTI3NiMx/persentase-penduduk-daerah-perkotaan-hasil-proyeksi-penduduk-menurut-provinsi--2015---2035.html>
- Brauers, W. K. M. (2008). Multi-objective contractor's ranking by applying the MOORA method. *Journal of Business Economics and Management*, 4, 245–255.
- Bungin, B. (2010). *Metodologi Penelitian Kuantitatif: Edisi Kedua*. Prenada Media Group.
- Furuya, M. T. G., Furuya, D. E. G., de Oliveira, L. Y. D., da Silva, P. A., Cicerelli, R. E., Gonçalves, W. N., Junior, J. M., Osco, L. P., & Ramos, A. P. M. (2023). A machine learning approach for mapping surface urban heat island using environmental and socioeconomic variables: a case study in a medium-sized Brazilian city. *Environmental Earth Sciences*, 82(13), 325. <https://doi.org/10.1007/s12665-023-11017-8%0D>
- Hafsari, R. (2019). *Sistem Rekomendasi Penempatan Program Pengalaman Lapangan (PPL) Menggunakan Metode Moora Berdasarkan Rule-Based*. Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- Hatefi, M. A. (2023). An improved rank order centroid method (IROC) for criteria weight estimation: an application in the engine/vehicle selection problem. *Informatica*, 34(2), 249–270. <https://doi.org/10.15388/23-INFOR507>
- He, B.-J. (2019). Towards the next generation of green building for urban heat island mitigation: Zero UHI impact building. *Sustainable Cities and Society*, 50, 101647. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101647>
- Herath, P., Thatcher, M., Jin, H., & Bai, X. (2021). Effectiveness of urban surface characteristics as mitigation strategies for the excessive summer heat in cities. *Sustainable Cities and Society*, 72, 103072. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:236239028>
- Irfandi, Munir, A., & Huda, K. (2021). The Effect of Plants on Extensive Green Roofs in Urban Heat Island Mitigation Efforts in Humid Tropical Cities. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 881(1), 12043.
- Karami, A. F., Nurhayati, H., & Arif, Y. M. (2024). Design and evaluation Maliki

- V-Lab: A metaverse-based virtual laboratory for computer assembly learning in higher education. *International Journal of Information and Education Technology*, 14(6), 814–821.
- Khare, V. R., Vajpai, A., & Gupta, D. (2021). A big picture of urban heat island mitigation strategies and recommendation for India. *Urban Climate*, 37, 100845.
- Knorr, D., Khoo, C. S. H., & Augustin, M. A. (2018). Food for an Urban Planet: Challenges and Research Opportunities. *Frontiers in Nutrition*, 4. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:5169916>
- Kusumadewi, T., Surjono, Leksono, A. S., & Arif, Y. M. (2024). *Pemodelan Mitigasi Urban Heat Island (UHI) di Kawasan Permukiman Kota Malang*. Universitas Brawijaya.
- Li, D., Bou-Zeid, E., & Oppenheimer, M. (2014). The effectiveness of cool and green roofs as urban heat island mitigation strategies. *Environmental Research Letters*, 9. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:32151257>
- Liu, N., & Morawska, L. (2020). Modeling the urban heat island mitigation effect of cool coatings in realistic urban morphology. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121560.
- Maraghi, A. (2020). *Tafsir Al-Maraghi*. Dar Ihya al-Turath al-Arabi.
- Marjenah, M. (2021). The Role of Structure Canopy of Terminalia Catappa Linn. on Light Penetration and Decreasing Ambient Temperature as Climate Change Mitigation. *Wood Research Journal*, 12(1), 35–40.
- Michel, J.-P. (2020). Urbanization and Ageing Health Outcomes. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 24, 463–465. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:215775043>
- Morini, E., Touchaei, A. G., Rossi, F., Cotana, F., & Akbari, H. (2018). Evaluation of albedo enhancement to mitigate impacts of urban heat island in Rome (Italy) using WRF meteorological model. *Urban Climate*, 24, 551–566.
- Mursyidah, W. (2025). *Pengembangan e-LKPD berbasis problem based learning untuk meningkatkan keterampilan berpikir kreatif siswa pada mata pelajaran IPAS Kelas IV di MIN 1 Kota Malang*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. <http://etheses.uin-malang.ac.id/74680/1/210103110027.pdf>
- Rchid, A. (2012). The effects of green spaces (Palme trees) on the microclimate in arides zones, case study: Ghardaia, Algeria. *Energy Procedia*, 18, 10–20.
- Sen, S., Roesler, J. R., Ruddell, B. L., & Middel, A. (2019). Cool Pavement Strategies for Urban Heat Island Mitigation in Suburban Phoenix, Arizona. *Sustainability*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:202309640>
- Sharma, A., Conry, P., Fernando, H. J. S., Hamlet, A. F., Hellmann, J. J., & Chen, F. (2016). Green and cool roofs to mitigate urban heat island effects in the

- Chicago metropolitan area: Evaluation with a regional climate model. *Environmental Research Letters*, 11(6), 064004.
- Shi, Y.-R., & Shih, J.-L. (2015). Game factors and game-based learning design model. *International Journal of Computer Games Technology*, 2015(1), 549684.
- Simangunsong, N. I., Fauzi, R., Danniswari, D., & Fitri, R. (2023). Roadside Greenbelt Aside Greenbelt Effect Effects On Therm S On Thermal Comfort And Comfort Of Pedestrian Corridors At A Busy Traffic Road. *Journal of Environmental Science and Sustainable Development*, 6(2), 249–265.
- Soboleva, E. V., & Shalaginova, N. V. (2019). Simulation of artificial intelligence in a computer game. *Journal of Physics: Conference Series*, 1399(3), 033050.
- Supratman, A., Nugroho, B. I., Syefudin, S., & Kurniawan, R. D. (2024). Penerapan Metode Rule Based System Untuk Menentukan Jenis Tanaman Pertanian Berdasarkan Ketinggian Dan Curah Hujan. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(2), 7879–7890.
- Susanti, A. D., & Ikaputra, I. (2020). Morfologi Urban Artefak Kampung Kota. *MARKA (Media Arsitektur Dan Kota): Jurnal Ilmiah Penelitian*, 4(1), 17–26.
- Tafsir Wajiz Jilid I, Bagian 1*. (2016). Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an.
- Tafsir Wajiz Jilid II*. (2016). Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an.
- Turban, E., Sharda, R., & Delen, D. (2018). *Decision Support and Business Intelligence Systems*. Pearson.
- Turhan, C., Atalay, A. S., & Gokcen Akkurt, G. (2023). An integrated decision-making framework for mitigating the impact of urban heat islands on energy consumption and thermal comfort of residential buildings. *Sustainability*, 15(12), 9674.
- Wang, Y., Berardi, U., & Akbari, H. (2016). Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada. *Energy and Buildings*, 114, 2–19. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:106917152>
- Wong, N. H., Tan, C. L., Kolokotsa, D., & Takebayashi, H. (2021). Greenery as a mitigation and adaptation strategy to urban heat. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2, 166–181.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:231706376>
- Yıldız, N., & Avdan, U. (2018). The effect of the temperature of the surface of vegetation to the temperature of an urban area. *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 2(2), 76–85.