

**STRATEGI MITIGASI URBAN HEAT ISLAND BERBASIS SIMULASI
GAME MENGGUNAKAN METODE WP FUZZY**

SKRIPSI

**Oleh :
FITRIA SUSANTI
NIM. 210605110044**



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

**STRATEGI MITIGASI URBAN HEAT ISLAND BERBASIS SIMULASI
GAME MENGGUNAKAN METODE WP FUZZY**

SKRIPSI

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

Oleh :
FITRIA SUSANTI
NIM. 210605110044

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

HALAMAN PERSETUJUAN

**STRATEGI MITIGASI URBAN HEAT ISLAND BERBASIS SIMULASI
GAME MENGGUNAKAN METODE WP FUZZY**

SKRIPSI

**Oleh :
FITRIA SUSANTI
NIM. 210605110044**

**Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal: 04 Juni 2025**

Pembimbing I,



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

Pembimbing II,



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

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



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

HALAMAN PENGESAHAN

STRATEGI MITIGASI URBAN HEAT ISLAND BERBASIS SIMULASI GAME MENGGUNAKAN METODE WP FUZZY

SKRIPSI

Oleh :
FITRIA SUSANTI
NIM. 210605110044

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)
Tanggal: 16 Juni 2025

Susunan Dewan Penguji

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



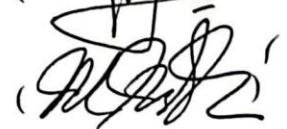
Anggota Penguji I : Hani Nurhayati, M.T
NIP. 19780625 200801 2 006



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



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



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




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

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fitria Susanti
NIM : 210605110044
Fakultas / Prodi : Sains dan Teknologi / Teknik Informatika
Judul Skripsi : Strategi Mitigasi *Urban Heat Island* Berbasis Simulasi *Game*
Menggunakan Metode *WP Fuzzy*

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, 16 Juni 2025
Yang membuat pernyataan,



Fitria Susanti
NIM.210605110044

MOTTO

... dan hanya kepada Tuhanmu berharaplah (QS. Al Insyirah 8)...

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan baik. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad Shallallahu 'alaihi wasallam, yang telah membimbing umat manusia dari masa kegelapan menuju jalan Islam yang terang benderang.

Penulis mempersembahkan karya ini kepada kedua orang tua, keluarga, rekan-rekan, kakak tingkat, serta sahabat-sahabat yang telah memberikan dukungan, semangat, dan kebersamaan selama menjalani masa perkuliahan, baik secara daring maupun luring. Tanpa doa, bantuan, dan dorongan dari mereka, pencapaian ini tidak akan mungkin terwujud.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Segala puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “Strategi Mitigasi Urban Heat Island Berbasis Simulasi Game Menggunakan Metode WP Fuzzy” dengan baik dan tepat waktu.

Penulis juga menyampaikan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, serta motivasi selama proses penyusunan skripsi ini. Ucapan terima kasih ini secara khusus penulis tujukan kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A., selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
2. Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si, selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim
3. Dr. Ir. Fachrul Kurniawan, M.MT., IPU, selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. Ir. Yunifa Miftahul Arif, M.T selaku dosen pembimbing I dan Dr. M. Imamudin, Lc., MA selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bantuan dan arahan kepada penulis, sehingga bisa menuntaskan skripsi ini.
5. Dr. M. Faisal, M.T selaku dosen penguji I ketika seminar proposal, Hani Nurhayati, M.T selaku dosen penguji II ketika seminar proposal dan sidang skripsi, Dr. Fachrul Kurniawan, M.MT., IPM selaku dosen penguji I ketika seminar hasil dan sidang skripsi dan Dr. Fresy Nugroho , M.T., IPM selaku

dosen penguji II ketika seminar hasil, yang telah menguji serta memberikan masukan sehingga penulis dapat menuntaskan skripsi dengan baik.

6. Kepada Ayah, Ibu, yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi, serta doa yang tiada henti, dan saudara saya yang telah menjadi donatur selama perkuliahan sehingga penulisan skripsi ini dapat berjalan dengan lancar hingga selesai dengan baik.
7. Terima kasih kepada NIM 210601110048 atas semangat, doa, dukungan, motivasi, serta segala kontribusi positif yang telah diberikan selama proses penulisan skripsi ini.
8. Teman-teman Teknik Informatika Angkatan 21 '*Aster*' yang telah menjadi bagian dari perjalanan saya selama di tanah rantau. Terima kasih atas kebersamaan, semangat, dan kenangan berharga yang tak akan terlupakan.

Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Malang, 16 Juni 2025

Fitria Susanti

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
المخلص	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II STUDI PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terkait	6
2.2 Mitigasi	13
2.2.1 Albedo Permukaan (<i>Albedo Surface</i>).....	14
2.3 Urban Heat Island	15
2.4 Weighted Product	19
2.5 Fuzzy	21
2.6 Unity 3D.....	25
BAB III RANCANGAN DAN DESAIN GAME	27
3.1 Rancangan Game	27
3.1.1 Rancangan Antarmuka	27
3.1.2 Rancangan Game Menggunakan FSM.....	31
3.2 Rancangan Perhitungan Weighted Product	32
3.2.1 Alternatif dan Kriteria	33
3.2.2 Menentukan Bobot untuk Setiap Kriteria.....	35
3.2.3 Membuat Matriks Keputusan	36
3.2.4 Menghitung Nilai Vektor (S).....	38
3.2.5 Menghitung Nilai Vektor (V)	38
3.3 Rancangan Perhitungan Fuzzy	39
3.3.1 Menentukan Variabel Input dan Output Fuzzy	39
3.3.2 Normalisasi Matriks	40
3.3.3 Himpunan Fuzzy	41
3.3.4 Fuzzifikasi	43
3.3.5 Pembentukan Aturan Fuzzy	51
3.3.6 Agregasi dan Defuzzifikasi	56

3.4 Rencana Pengujian System Usability Scale.....	57
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	61
4.1 Penerapan Metode WP dan Fuzzy	61
4.1.1 Weighted Product	61
4.1.2 Fuzzy.....	65
4.2 Pembahasan <i>Game</i>	71
4.3 Pengujian System Usability Scale	74
4.4 Integrasi Islam dan Sains	77
4.4.1 Muamalah Ma'a Allah SWT	78
4.4.2 Muamalah Ma'a An-Nas	80
4.4.3 Muamalah Ma'a al Alam.....	82
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	84
5.1 Kesimpulan	84
5.2 Saran	85
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu.....	10
Tabel 2.2 Penelitian yang akan dilakukan.....	12
Tabel 3.1 Alternatif Wilayah	33
Tabel 3.2 Kriteria	34
Tabel 3.3 Bobot dari masing masing kriteria	36
Tabel 3.4 Matriks Keputusan Wilayah Perumahan	37
Tabel 3.5 Matriks Keputusan Wilayah Permukiman.....	37
Tabel 3.6 Nilai Vektor S Perumahan	38
Tabel 3.7 Nilai Vektor S Permukiman.....	38
Tabel 3.8 Nilai Preferensi Wilayah Perumahan	38
Tabel 3.9 Nilai Preferensi Wilayah Permukiman	39
Tabel 3.10 Variabel Input dan Output	39
Tabel 3.11 Variabel Input Sebelum Normalisasi	40
Tabel 3.12 Normalisasi matriks variabel input	41
Tabel 3.13 Semesta pembicaraan variabel fuzzy	42
Tabel 3.14 Himpunan Fuzzy	43
Tabel 3.15 Rule Base.....	52
Tabel 3.16 Hasil Mitigasi	57
Tabel 3.17 instrumen pengujian System Usability Scale (SUS)	59
Tabel 3.18 Skala Penilaian Usability	59
Tabel 3.19 Nilai SUS.....	59
Tabel 4.1 Hasil Perankingan Metode WP menggunakan Python.....	62
Tabel 4.2 Hasil Perankingan WP pada Game.....	72
Tabel 4.3 Hasil Mitigasi pada Game	73
Tabel 4.4 Hasil Responden.....	74
Tabel 4.5 Hasi SUS sebelum dikali 2.5	75
Tabel 4.6 Hasi SUS setelah dikali 2.5	76
Tabel 4.7 Rata rata skor SUS	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Profil suhu Sumber : (Almeida dkk., 2021)	17
Gambar 3.1 Main Menu Game	28
Gambar 3.2 Menu Cara Bermain	28
Gambar 3.3 Menu Wilayah	29
Gambar 3.4 Menu Setting	29
Gambar 3.5 Play Game	30
Gambar 3.6 Game Finish	30
Gambar 3.7 FSM Ecocity.....	31
Gambar 3.8 Himpunan Fuzzy	42
Gambar 3.9 Fungsi Keanggotaan Luas Permukaan Dinding	44
Gambar 3.10 Fungsi Keanggotaan Luas Permukaan Atap.....	46
Gambar 3.11 Fungsi Keanggotaan Luas Permukaan Jalan	47
Gambar 3.12 Fungsi Keanggotaan Reflektivitas Permukaan Dinding	49
Gambar 3.13 Himpunan Output Fuzzy Material.....	50
Gambar 3.14 Hasil Agregasi dan Defuzzifikasi	57
Gambar 4.1 Main Menu	72
Gambar 4.2 Pilih Kawasan.....	72
Gambar 4.3 Mitigasi UP 29.....	73

ABSTRAK

Susanti, Fitria. 2025. **Strategi Mitigasi *Urban Heat Island* Berbasis Simulasi Game Menggunakan Metode Wp Fuzzy**. Skripsi. Jurusan Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Dr. Ir. Yunifa Miftahul Arif, M.T (II) Dr. M. Imamudin, Lc., MA.

Kata Kunci: *Weighted Product, Fuzzy Mamdani, Urban Head Island, Mitigasi.*

Pesatnya pembangunan di Kota Malang telah mendorong terjadinya alih fungsi lahan hijau menjadi kawasan terbangun. Perubahan ini memicu timbulnya fenomena *Urban Heat Island* (UHI), yang berpotensi menimbulkan dampak serius terhadap kesehatan masyarakat, bahkan hingga mengancam keselamatan jiwa apabila tidak segera ditangani. Oleh karena itu, diperlukan strategi mitigasi yang efektif untuk mereduksi dampak dari fenomena tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem strategi mitigasi UHI yang diterapkan pada delapan wilayah di Kota Malang, yang didominasi oleh kawasan perumahan dan permukiman. Metode *Weighted Product* (WP) digunakan untuk meranking wilayah berdasarkan tingkat urgensi mitigasi, sementara metode *Fuzzy Mamdani* dimanfaatkan untuk menentukan strategi mitigasi yang sesuai, seperti peningkatan albedo permukaan pada elemen-elemen fisik seperti atap, jalan, dan dinding. Sistem ini diimplementasikan dalam bentuk game simulasi berbasis *Unity 3D* yang berfungsi sebagai media interaktif untuk mendukung proses pengambilan keputusan dalam perencanaan kota. Hasil simulasi menunjukkan efektivitas sistem dalam mengidentifikasi wilayah prioritas mitigasi. Selain itu, sistem memperoleh hasil evaluasi *usability* yang sangat baik, dengan skor rata-rata 81,42 berdasarkan uji *System Usability Scale* (SUS), yang dikategorikan dalam *adjective rating* “Good”, *grade scale* “B”. Validasi dari ahli game menghasilkan nilai 87,5%, sementara validasi dari pakar *Urban Heat Island* mencapai 93%. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan pendekatan teknologi modern berbasis simulasi game untuk mendukung perencanaan kota yang berkelanjutan dalam konteks mitigasi UHI.

ABSTRACT

Susanti, Fitria. 2025. **Strategi Mitigasi Urban Heat Island Berbasis Simulasi Game Menggunakan Metode Wp Fuzzy**. Thesis. Informatics Engineering Study Program Faculty of Science and Technology Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Malang. Advisor: (I) Dr. Yunifa Miftahul Arif, M.T (II) Dr. M. Imamudin, Lc., MA.

The rapid development in Malang City has driven the conversion of green open spaces into built-up areas. This land-use change has triggered the emergence of the Urban Heat Island (UHI) phenomenon, which poses serious risks to public health and even threatens human safety if not addressed promptly. Therefore, effective mitigation strategies are urgently needed to reduce the impact of this phenomenon. This study aims to develop a UHI mitigation strategy system applied to eight regions in Malang City, primarily consisting of residential and housing areas. The *Weighted Product* (WP) method is employed to rank the regions based on the urgency level of mitigation, while the Fuzzy Mamdani method is used to determine appropriate mitigation strategies, such as increasing surface albedo on physical elements like roofs, roads, and walls. The system is implemented as a Unity 3D-based simulation game, serving as an interactive medium to support decision-making in urban planning. Simulation results demonstrate the system's effectiveness in identifying priority areas for mitigation. Furthermore, the system achieved an excellent usability evaluation score, with an average System Usability Scale (SUS) score of 81.42, categorized as "Good" in the adjective rating and "B" on the grade scale. Expert validation from game design specialists yielded a score of 87.5%, while validation from UHI experts reached 93%. Thus, this study makes a significant contribution to the development of modern technology-based approaches using simulation games to support sustainable urban planning in the context of UHI mitigation.

Key words: *Weighted Product, Fuzzy Mamdani, Urban Head Island, Mitigation.*

الملخص

سوسانتي، فطرية. 2025. استراتيجية التخفيف من Urban Heat Island القائمة على محاكاة الألعاب باستخدام أسلوب WP Fuzzy. البحث الجامعي. قسم هندسة المعلوماتية. كلية العلوم والتكنولوجيا. جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف: (أ) د. يونيفا مفتاح العارف، ماجستير (ب) د. محمد. إمام الدين، ماجستير .

الكلمات المفتاحية: Urban Heat Island، Fuzzy Mamdani، Weighted Product، التخفيف

أدى التطور السريع في مدينة مالانج إلى تحويل المساحات الخضراء المفتوحة إلى مناطق عمرانية. وقد أدى هذا التغيير في استخدام الأراضي إلى ظهور ظاهرة "Urban Heat Island" (UHI)، التي تشكل مخاطر جسيمة على الصحة العامة، بل وتهدد سلامة الإنسان إذا لم تُعالج بكفاءة. لذلك، ثمة حاجة ماسة إلى استراتيجيات تخفيف فعالة للحد من تأثير هذه الظاهرة. تهدف هذه الدراسة إلى تطوير نظام استراتيجية تخفيف لظاهرة "Urban Heat Island" يُطبق على ثماني مناطق في مدينة مالانج، تتكون أساسًا من مناطق سكنية. تُستخدم طريقة Weighted Product (WP) لتصنيف المناطق بناءً على مستوى إلحاح التخفيف، بينما تُستخدم طريقة "Fuzzy Mamdani" لتحديد استراتيجيات التخفيف المناسبة، مثل زيادة بياض السطح على العناصر المادية مثل الأسطح والطرق والجدران. يُنفذ النظام كلعبة محاكاة تعتمد على Unity 3D، وتعمل كوسيط تفاعلي لدعم اتخاذ القرارات في التخطيط الحضري. تُظهر نتائج المحاكاة فعالية النظام في تحديد المناطق ذات الأولوية للتخفيف. علاوةً على ذلك، حقق النظام درجة ممتازة في تقييم قابلية الاستخدام، بمتوسط درجة 81.42 على System Usability Scale (SUS)، مُصنّفًا على أنه "جيد" في تقييم الصفات و"B" في مقياس الدرجات. توفد حقق التحقق من صحة اللعبة من قبل خبراء متخصصين في تصميم الألعاب درجة 87.5%، في حين وصلت درجة التحقق من صحة اللعبة من قبل خبراء UHI إلى 93%. وبالتالي، تُسهم هذه الدراسة إسهامًا كبيرًا في تطوير مناهج حديثة قائمة على التكنولوجيا باستخدام ألعاب المحاكاة لدعم التخطيط الحضري المستدام في سياق التخفيف من آثار UHI.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan jumlah bangunan, jalan beraspal, dan infrastruktur lain yang dominan menggunakan material seperti beton, logam, dan aspal, secara drastis mengubah aliran energi dan panas di kota (S. N. Ahmad dkk., 2021). Proses ini memicu fenomena yang dikenal sebagai *Urban Heat Island* (UHI). Fenomena *Urban Heat Island* (UHI) atau Pulau Panas Perkotaan adalah kondisi daerah perkotaan mengalami suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah pedesaan (Deilami dkk., 2018). Dampak *Urban Heat Island* (UHI) semakin parah akibat urbanisasi yang tidak tepat, perencanaan, dan desain kota yang tidak sesuai (Salghuna, 2022). Fenomena *Urban Heat Island* (UHI) yang terjadi di Kota Malang salah satu penyebabnya karena migrasi masuk yang lebih besar daripada migrasi keluar. Berdasarkan Badan Pusat Statistik Kota Malang tahun 2023, terdapat 22.397 orang yang bermigrasi masuk dibandingkan dengan 20.248 orang yang bermigrasi keluar. Peningkatan jumlah penduduk akibat migrasi masuk tersebut berdampak langsung terhadap peningkatan kebutuhan lahan untuk permukiman. Kondisi ini menunjukkan bahwa penggunaan material terhadap bangunan merupakan faktor yang signifikan dalam peningkatan efek UHI. Peningkatan albedo permukaan (*Surface Albedo*) perkotaan memungkinkan permukaan tersebut memantulkan sebagian besar radiasi matahari yang masuk untuk kembali ke atmosfer (Morini dkk., 2016). *Al-Qur'an* memberikan perhatian besar terhadap pentingnya menjaga

kelestarian lingkungan. Sebagaimana firman Allah SWT dalam surat Ar-Rum Ayat 41:

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

“Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar).” (QS. Ar-rum Ayat 41).

Menurut Tafsir Ibnu Katsir (Alu Syaikh, 2008), ayat ini menunjukkan bahwa kerusakan yang tampak di darat dan di laut, baik berupa bencana alam, kerusakan ekosistem, maupun gangguan pada keseimbangan lingkungan, merupakan akibat langsung dari ulah manusia yang melampaui batas, tidak menjaga amanah sebagai khalifah, dan tidak mengindahkan peringatan Allah. *Abul ‘Aliyah* menambahkan bahwa barangsiapa yang berbuat kerusakan didalamnya maka ia telah berbuat maksiat, karena kebaikan bumi dan langit adalah sebab ketaatan. Hal ini selaras dengan firman Allah bahwa kerusakan tersebut muncul akibat perbuatan tangan manusia seperti penggunaan material beralbedo rendah, minimnya ruang hijau, dan pola pembangunan yang eksploitatif.

Penelitian tentang mitigasi *Urban Heat Island* (UHI) telah berkembang pesat, dengan berbagai strategi yang difokuskan untuk mengurangi dampaknya. Salah satu Penelitian yang dilakukan oleh (Liu dkk., 2024) yang berjudul *“Impacts of high-albedo urban surfaces on outdoor thermal environment across morphological contexts: A case of Tianjin, China”* hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa meningkatkan albedo jalan lebih efektif dalam mengurangi UHI di daerah pinggiran, sedangkan meningkatkan albedo dinding dan atap lebih

efektif dalam mengurangi UHI di daerah pusat. Zona iklim lokal dengan rasio aspek perkotaan sekitar 0,5 dapat mencapai pengurangan maksimum suhu permukaan jalan (-6°C) dan suhu permukaan dinding (-3°C).

Albedo permukaan yang tinggi dapat mengurangi panas melalui refleksi radiasi matahari, sehingga menurunkan suhu udara serta meningkatkan kondisi lingkungan. Namun, meskipun metode ini efektif, tantangan terbesar adalah bagaimana menentukan wilayah yang paling membutuhkan mitigasi dan memprioritaskan strategi mitigasi yang paling tepat. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem pengambilan keputusan informasi untuk menentukan wilayah mana yang memiliki nilai UHI tertinggi. Dengan *Decisions Support Systems* (DSS) ini dapat membantu perumusan keputusan yang lebih baik.

Dalam penelitian ini DSS yang dipilih untuk menyelesaikan masalah penentuan wilayah yang memiliki nilai UHI tertinggi adalah *Weighted Product* (WP). Metode *Weighted Product* digunakan karena pada kemampuannya untuk menjaga keseimbangan antar kriteria melalui pendekatan perkalian berbobot, sehingga memberikan perbandingan yang lebih proporsional antar alternatif. Hal ini membuatnya sangat cocok untuk digunakan dalam situasi di mana kriteria yang dipertimbangkan memiliki skala penting yang berbeda. Selain itu, proses perhitungannya yang sederhana membuat *Weighted Product* menjadi pilihan yang efisien dalam situasi pengambilan keputusan cepat, tanpa memerlukan komputasi yang rumit seperti beberapa metode lainnya (Tae dkk., 2022).

Selain metode WP yang digunakan, penelitian ini mengimplementasikan metode *Fuzzy* untuk menangani ketidakpastian dalam proses pengambilan

keputusan. Sistem *Fuzzy* sangat bermanfaat dalam situasi di mana data tidak pasti, ambigu, atau tidak jelas, yang sering terjadi pada pengukuran fenomena lingkungan seperti *Urban Heat Island* (UHI). Dalam konteks khusus ini, pendekatan *Fuzzy* digunakan untuk memastikan peraturan untuk mengidentifikasi alternatif yang paling menguntungkan, terutama dalam kasus di mana beberapa alternatif memenuhi kriteria yang telah ditetapkan. Proses penerapan *Fuzzy* dimulai dengan identifikasi himpunan *fuzzy* beserta fungsi keanggotaan yang terkait untuk setiap kriteria yang dievaluasi. Selanjutnya, aturan *fuzzy* dikembangkan untuk merangkum hubungan rumit yang ada antara kriteria dan alternatif. Proses pengambilan keputusan *Fuzzy* dijalankan melalui mekanisme inferensi, di mana beberapa alternatif dievaluasi sesuai dengan derajat keanggotaan mereka ke berbagai himpunan *fuzzy*. Berdasarkan permasalahan diatas, penelitian ini menerapkan metode *Weighted Product* (WP) dan *Fuzzy* dalam sistem pengambilan keputusan berbasis game menggunakan platform Unity 3D untuk menentukan strategi mitigasi *Urban Heat Island* (UHI) di Kota Malang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan diatas, rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana *game* yang menggunakan metode *Weighted Product* (WP) dan *Fuzzy* dapat digunakan untuk menentukan strategi mitigasi *Urban Heat Island* (UHI) di Kota Malang?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan didalam penelitian ini mencakup:

1. Penelitian hanya dilakukan di Kota Malang yang terdiri dari delapan wilayah yang terdiri dari 4 wilayah perumahan dan 4 wilayah pemukiman dengan UHI tertinggi.
2. Alternatif yang digunakan albedo material yang terdiri dari atap, jalan dan dinding

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan mitigasi yang tepat dalam mitigasi *Urban Heat Island* di Kota Malang, dengan menggunakan metode *WP Fuzzy* berbasis *Game Unity 3D*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian dengan dari *Game Mitigasi Urban Heat Island* adalah:

1. Memberikan panduan bagi perencana kota (tim ahli) dalam mengurangi dampak *Urban Heat Island* melalui strategi yang terstruktur.
2. Menyediakan alat bantu dalam pengambilan keputusan mitigasi *Urban Heat Island* berbasis game yang interaktif.
3. Memberikan kontribusi pada pengembangan teori mitigasi *Urban Heat Island* dengan pendekatan teknologi modern, khususnya game *Decision Support System*.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Urban Heat Island (UHI) merupakan fenomena yang semakin signifikan di wilayah perkotaan, terutama akibat urbanisasi yang pesat dan peningkatan populasi (Hermawan, 2015). Dampak *Urban Heat Island* (UHI) telah menjadi perhatian serius karena efeknya terhadap lingkungan, kesehatan manusia, dan ekonomi. *Urban Heat Island* menyebabkan peningkatan suhu di area perkotaan yang memperburuk kualitas udara, meningkatkan kebutuhan energi untuk pendinginan, serta mempengaruhi kesehatan masyarakat. Sebuah penelitian oleh (Li dkk., 2019) menunjukkan bahwa *Urban Heat Island* (UHI) menyebabkan peningkatan suhu rata-rata di area perkotaan hingga 4°C, terutama pada malam hari, yang berdampak pada kenyamanan termal dan kesehatan manusia. Selain dampak langsung terhadap kesehatan dan kenyamanan, fenomena *Urban Heat Island* (UHI) juga memengaruhi ekosistem perkotaan. Peningkatan suhu permukaan tanah dapat mempercepat evaporasi air dan mengurangi kelembaban, yang pada akhirnya mengubah siklus hidrologi lokal dan mengganggu habitat alami. Penurunan kualitas lingkungan akibat *Urban Heat Island* (UHI) tidak hanya merugikan ekosistem, tetapi juga berdampak pada kualitas hidup penduduk kota.

Sebuah penelitian yang dilakukan oleh (Vilão & Ramos, 2024) mengukur efek *Urban Heat Island* (UHI) di berbagai wilayah Lisbon, Portugal. Tujuannya adalah untuk memvalidasi dan meningkatkan adaptasi iklim perkotaan dan strategi

mitigasi UHI. Area kepadatan tinggi, seperti Entrecampos, secara konsisten menunjukkan nilai UHI yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah dengan kepadatan rendah seperti Alto da Ajuda dan Beirilas. Efek UHI rata-rata di daerah perkotaan dengan kepadatan tinggi adalah $+1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, sedangkan koridor ventilasi menunjukkan efek yang lebih rendah sebesar $+0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Studi ini menunjukkan bahwa teknik perencanaan, termasuk solusi berbasis alam, dapat meningkatkan kenyamanan termal dan mengurangi efek UHI. Contohnya seperti cermin air, naungan yang efektif, penghijauan, dan peningkatan area hijau yang diirigasi dengan air hujan bekas.

Penelitian lain yang dilakukan oleh (Peng dkk., 2020) menyoroti bahwa pemanasan iklim dan urbanisasi telah mengintensifkan efek pulau panas perkotaan (UHI) secara global. Fenomena ini menghasilkan suhu yang lebih tinggi di daerah perkotaan dibandingkan dengan lingkungan pedesaan mereka, menimbulkan tantangan bagi keberlanjutan perkotaan. Penelitian ini berfokus pada aglomerasi perkotaan Delta Sungai Mutiara (PRD), yang sangat urban dan padat penduduknya dengan badan air, namun menderita efek UHI yang parah. Penelitian ini menganalisis dampak pembangunan sosial ekonomi lokal terhadap intensitas pendinginan badan air pada siang hari. Hasilnya menemukan bahwa intensitas pendinginan badan air bervariasi secara spasial, dengan penurunan suhu rata-rata $1,1^{\circ}\text{C}$ dan maksimum $5,54^{\circ}\text{C}$. Efek pendinginan ini terutama dipengaruhi oleh ukuran bidang badan air dan secara signifikan dipengaruhi oleh tingkat perkembangan sosial ekonomi lokal. Maka penelitian memberikan panduan

kuantitatif untuk perencanaan lanskap biru, yang dapat digunakan untuk mengatasi tantangan yang ditimbulkan oleh perubahan iklim dan pulau panas perkotaan.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh (Irfeey dkk., 2023) penelitian ini menekankan bahwa urbanisasi dan industrialisasi jika tidak dikelola secara berkelanjutan, tidak akan memastikan masa depan yang aman. Penggunaan bahan bangunan berkelanjutan, termasuk bahan reflektif dan dingin seperti cat berwarna terang dan trotoar reflektif, ditekankan untuk meningkatkan albedo permukaan dan mengurangi penyerapan panas. Selain itu, trotoar penahan air dirancang untuk menyimpan air dan memfasilitasi pendinginan evaporatif, yang selanjutnya mengurangi suhu permukaan. Strategi ini secara kolektif bertujuan untuk menciptakan lingkungan perkotaan yang lebih berkelanjutan, mengurangi efek buruk dari UHI dan meningkatkan kualitas hidup bagi penduduk perkotaan.

Penelitian (Cao dkk., 2022) menemukan bahwa selama musim panas, intensitas pulau panas perkotaan permukaan siang hari (ΔT) umumnya lebih tinggi daripada di malam hari. Penelitian ini menyoroti bahwa UMP 3D, seperti tinggi dan volume bangunan, memiliki dampak yang lebih signifikan pada ΔT dibandingkan dengan UMP 2D seperti cakupan bangunan. Secara khusus, ketinggian bangunan berkorelasi negatif dengan suhu permukaan, sedangkan volume bangunan menunjukkan korelasi positif. Faktor sosial ekonomi, seperti kepadatan penduduk (ΔPD) dan intensitas cahaya malam hari (ΔNTL), ditemukan memiliki efek pemanasan pada ΔT . Studi ini menyimpulkan bahwa penghijauan perkotaan bisa lebih efektif dalam mendinginkan permukaan di kota-kota kecil dibandingkan dengan kota-kota besar, terutama di iklim kering.

Penelitian oleh (Utami & Febriningrum, 2023) bertujuan untuk membantu pengguna dalam memilih layanan streaming musik terbaik dengan merekomendasikan aplikasi berdasarkan sistem peringkat. Sistem ini dikembangkan menggunakan Sistem Pendukung Keputusan yang menggunakan metode *Weighted Product*. Peringkat aplikasi streaming musik didasarkan pada lima kriteria utama: tarif berlangganan, fitur yang tersedia, kualitas streaming, desain aplikasi, dan efisiensi aplikasi. Kriteria ini membantu dalam menentukan aplikasi yang paling cocok untuk pengguna. Hasil akhir menunjukkan bahwa Spotify menduduki peringkat sebagai layanan streaming musik terbaik dengan skor 0,415. Aplikasi lain diberi peringkat sebagai berikut: Joox dengan skor 0,293, YouTube *Music* dengan 0,152, Resso dengan 0,098, dan Deezer dengan 0,039. Apple Music tidak menerima penilaian apa pun dari responden dan ditempatkan terakhir dengan skor 0. Metode *Weighted Product* diterapkan untuk menentukan aplikasi layanan streaming musik terbaik. Hasilnya dibandingkan dengan perhitungan menggunakan SPSS, metode tersebut lebih memberikan tingkat akurasi yang tinggi dalam merekomendasikan aplikasi terbaik berdasarkan kriteria yang ditetapkan.

Selanjutnya penelitian (Marcondes & Marcondes, 2024) melakukan untuk memilih proyek inovasi yang tepat menantang karena perlunya eksperimen, yang melibatkan volatilitas dan ketidakpastian. Tantangan ini meningkat ketika pendekatan terbuka digunakan untuk mengimbangi kurangnya informasi, sumber daya, dan keterampilan. Penelitian ini menggunakan metode *Weighted Product* untuk memilih proyek inovasi. Salah satu keunggulan utama *Weighted Product*

adalah kesederhanaan dan kemudahan aplikasinya. Ini membuatnya dapat diakses oleh organisasi untuk diterapkan tanpa memerlukan sumber daya komputasi atau keahlian yang luas, sehingga memfasilitasi proses pemilihan proyek yang lebih efisien. Proses pengambilan keputusan dengan menggunakan perkalian proporsi (rasio) tertimbang antara nilai-nilai alternatif. Metode ini memungkinkan evaluasi independen dari dimensi kriteria yang berbeda, sehingga lebih mudah untuk membandingkan alternatif pada skala umum.

Penelitian lain yang dilakukan oleh (Christioko dkk., 2017) bertujuan untuk membantu proses pemilihan mahasiswa berprestasi di tingkat fakultas dengan menerapkan metode *Fuzzy Multi-Attribute Decision Making* (FMADM) dan *Simple Additive Weighting* (SAW). FMADM (*Fuzzy Multi-Attribute Decision Making*) digunakan untuk mengatasi ketidakpastian data atau informasi yang tidak lengkap saat proses pemilihan mahasiswa berprestasi. Metode ini melibatkan penentuan rating setiap alternatif (mahasiswa) berdasarkan agregasi derajat kecocokan terhadap semua kriteria yang ditetapkan. SAW (*Simple Additive Weighting*) digunakan untuk melakukan proses perangkingan terhadap mahasiswa berdasarkan bobot yang diberikan pada setiap kriteria. Penelitian ini berhasil mengatasi masalah ketidakpastian dalam penilaian dan memberikan hasil yang lebih akurat sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan oleh fakultas.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No.	Penulis	Judul	Objek dan Metode	Hasil
1.	Klein, 2016	Managing the Scability of Visual Exploration using Game Engines to Analyse Scenarios.	Fenomena UHI yang berlokasi di Ayer Rajah Expressway (AYE), Singapura dengan metode Automata Seluler untuk Simulasi Emisi	Sistem visualisasi yang dikembangkan menggunakan mesin game Unity3D secara efektif mengkomunikasikan informasi kompleks

No.	Penulis	Judul	Objek dan Metode	Hasil
			panas dan Teknik Fusion Visual untuk melapisi model perkotaan 3D.	melalui grafik informasi.
2.	Crisman dkk., 2023	Designing Chill City: An interactive game supporting public learning about urban planning for extreme heat.	Game Edukasi tentang strategi perencanaan panas dengan metode Design-Based Research (Penelitian Berbasis Desain)	Game berhasil meningkatkan pemahaman pemain tentang strategi mitigasi panas.
3.	Falasca dkk., 2019	High albedo materials to counteract heat waves in cities: An assessment of meteorology, buildings energy needs and pedestrian thermal comfort	Penelitian ini menggunakan model Weather Research and Forecasting (WRF) dan perangkat lunak EnergyPlus	Penelitian ini menganalisis dampak gelombang panas yang terjadi pada Juli 2015. Hasil menunjukkan bahwa penerapan material beralbedo tinggi pada permukaan bangunan mampu menurunkan suhu di area urban, namun hanya mengurangi sebagian kecil dari peningkatan suhu akibat gelombang panas. Sementara itu, penggunaan material ini dapat mengurangi konsumsi energi pendingin bangunan, tetapi menyebabkan ketidaknyamanan termal bagi pejalan kaki karena penurunan kecepatan angin dan peningkatan radiasi reflektif. Penelitian ini menyimpulkan bahwa meskipun material albedo tinggi memiliki manfaat dalam mengurangi suhu dan konsumsi energi, dampaknya pada kenyamanan termal pejalan kaki perlu dipertimbangkan dalam perencanaan urban.

No.	Penulis	Judul	Objek dan Metode	Hasil
4.	Muslim dkk., 2023	Implementasi Metode <i>Weighted Product</i> (WP) dalam Menentukan Sistem Pendukung Keputusan Penerima Beasiswa Kurang Mampu	Sistem pendukung keputusan penerima beasiswa kurang mampu. Dengan metode <i>Weighted Product</i> (WP), pengujian menggunakan Blackbox Testing.	Sistem menghasilkan perangkungan penerima beasiswa, dengan hasil tertinggi pada alternatif 1 (nilai rangking 0,074361).
5.	Vikki, 2022	Penerapan Metode <i>Weighted Product</i> Melalui Pendekatan Logika <i>Fuzzy</i> pada Kasus Pemilihan Ketua OSIM MAN 7 Bireuin	Pemilihan Ketua OSIM MAN 7 Bireuin model pendukung keputusan menggunakan metode <i>Weighted Product</i> (WP) dan logika <i>fuzzy</i>	Sistem ini dirancang untuk menangani 12 alternatif dan 4 kriteria, menyediakan alat pengambilan keputusan yang terstruktur dan efisien. Integrasi metode Produk Tertimbang (WP) dengan pendekatan logika <i>fuzzy</i> menghasilkan proses perhitungan yang lebih optimal untuk alternatif peringkat.
6.	Faizi dkk., 2020	Intuitionistic <i>Fuzzy</i> Sets in Multi-Criteria Group Decisions Making Problems Using the Characteristic Object Methods	pengembangan dan penerapan pendekatan baru untuk pengambilan keputusan kelompok multi-kriteria (MCGDM) menggunakan set <i>fuzzy</i> intuisi (IFS) dikombinasikan dengan Metode Objek Karakteristik (COMET).	Makalah ini menunjukkan bahwa metode COMET dapat diperluas untuk memecahkan masalah MCDM/MCGDM di bawah lingkungan yang lebih tidak pasti, seperti himpunan <i>fuzzy</i> bernilai interval dan set istilah linguistik <i>fuzzy</i> ragu-ragu, menunjukkan potensinya untuk aplikasi yang lebih luas.

Tabel 2.2 Penelitian yang akan dilakukan

No.	Penulis	Judul	Objek dan Metode
1.	Fitria Susanti	Decissions Support System Game Mitigasi <i>Urban Heat Island</i> Kota Malang menggunakan Metode WP Fuzy	Fenomena <i>Urban Heat Island</i> (UHI) di Kota Malang dengan metode pengambilan keputusan untuk wilayah mitigasinya yaitu <i>Weighted Product</i> . Sedangkan untuk memunculkan solusi mitigasi menggunakan <i>Fuzzy</i> .

2.2 Mitigasi

Mitigasi adalah serangkaian upaya yang dilakukan untuk mengurangi atau mencegah dampak negatif dari suatu fenomena, baik melalui pengurangan langsung sumber penyebab maupun adaptasi terhadap dampak yang sudah terjadi (Harijoko dkk., 2021). Mitigasi biasanya dikaitkan dengan isu-isu lingkungan seperti perubahan iklim dan bencana alam, tetapi konsep ini dapat diterapkan di berbagai bidang, termasuk kesehatan, keamanan, dan ekonomi (Malihah, 2022). Mitigasi sangat penting dalam perencanaan dan pengelolaan risiko, karena bertujuan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kerugian besar. Dalam konteks bencana alam, mitigasi dapat mencakup pembangunan infrastruktur tahan gempa, sistem peringatan dini untuk banjir atau tsunami, serta pelatihan masyarakat tentang cara menghadapi situasi darurat (Lasaiba, 2024). Dengan pendekatan mitigasi yang tepat, baik pemerintah, masyarakat, maupun individu dapat meminimalkan dampak negatif dari peristiwa berisiko, sehingga memperkuat ketahanan dan memaksimalkan keberlanjutan jangka panjang.

Dalam konteks perubahan iklim, mitigasi sering dikaitkan dengan usaha untuk menurunkan emisi gas rumah kaca, tetapi dalam konteks fenomena *Urban Heat Island* (UHI), mitigasi lebih spesifik merujuk pada pengendalian peningkatan suhu di area perkotaan (Fassa, 2022). Faktor-faktor seperti kepadatan bangunan, penggunaan material dengan albedo rendah (material yang menyerap panas tinggi seperti aspal), serta aktivitas manusia (transportasi, penggunaan energi, dan industri) memperburuk dampak ini. Oleh karena itu, mitigasi difokuskan pada

berbagai metode yang dapat menurunkan suhu lingkungan dan memulihkan keseimbangan termal di kota-kota.

2.2.1 Albedo Permukaan (*Albedo Surface*)

Albedo adalah ukuran dari kemampuan suatu permukaan untuk memantulkan radiasi matahari kembali ke atmosfer (Putra, 2024). Permukaan dengan albedo tinggi, seperti es atau salju, memantulkan sebagian besar radiasi yang mengenainya, sedangkan permukaan dengan albedo rendah seperti aspal menyerap lebih banyak radiasi. Albedo berperan penting dalam mengontrol suhu permukaan dan iklim mikro di wilayah perkotaan maupun pedesaan. Peningkatan albedo permukaan dapat mengurangi akumulasi panas, sehingga membantu menstabilkan suhu lingkungan. Dalam skala global, variasi albedo memengaruhi keseimbangan energi bumi, sementara di skala lokal, albedo berkontribusi terhadap suhu permukaan dan cuaca mikro (Basri, 2024).

Dalam konteks *Urban Heat Island* (UHI), albedo sangat memengaruhi peningkatan suhu di perkotaan. UHI terjadi ketika wilayah perkotaan menjadi lebih hangat daripada daerah pedesaan sekitarnya, terutama karena perubahan penggunaan lahan dan peningkatan permukaan beralbedo rendah seperti jalan raya dan atap. Permukaan ini menyerap panas matahari dan kemudian memancarkannya kembali, menyebabkan suhu di kota lebih tinggi, terutama pada malam hari (Saroinsong dkk., t.t.). Penelitian yang dilakukan oleh (Morini dkk., 2016) menunjukkan bahwa peningkatan albedo melalui penggunaan material reflektif seperti *cool roofs* dan trotoar reflektif secara signifikan dapat mengurangi intensitas *Urban Heat Island* (UHI). Penelitian ini menggunakan model *mesoscale* WRF

untuk mensimulasikan iklim perkotaan Terni, Italia. Model ini digunakan untuk menilai dampak peningkatan albedo pada efek *Urban Heat Island* (UHI). Hasil menunjukkan bahwa peningkatan albedo dapat menurunkan UHI hingga 2°C baik pada siang maupun malam hari. Suhu puncak di daerah perkotaan dapat dikurangi 1° C di siang hari dan sekitar 2° C di malam hari.

Penelitian lain yang dilakukan oleh (Jandaghian & Akbari, 2018) Concordia *University Heat Island Group* menunjukkan bahwa peningkatan albedo permukaan pada kota-kota seperti Chicago dan Houston memiliki dampak signifikan dalam mengurangi konsentrasi ozon dan partikel berbahaya di udara. Studi ini menggunakan model meteorologi dan kimia (WRF-Chem) selama gelombang panas 2011, menunjukkan bahwa dengan meningkatkan albedo permukaan seperti atap, dinding, dan jalan, suhu udara menurun hingga 2,3°C di wilayah perkotaan.

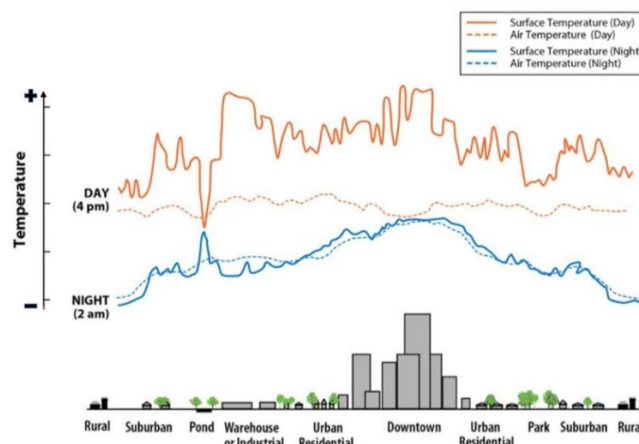
2.3 Urban Heat Island

Udara sangat penting bagi keberadaan makhluk hidup, termasuk manusia. Makhluk hidup membutuhkan udara setiap hari. Manusia dan organisme lain tidak dapat bertahan hidup tanpa udara (M. Ahmad dkk., 2019). Kualitas udara mengacu pada keadaan udara yang dihirup, udara dapat dipengaruhi oleh partikel berbahaya dan polutan seperti nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂), karbon monoksida (CO), dan partikel halus (PM_{2.5}) (Saidal Siburian & Mar, 2020). Dalam konteks *Urban Heat Island* (UHI), peningkatan suhu udara di daerah perkotaan sering kali disertai dengan penurunan kualitas udara. Hal ini disebabkan oleh konsentrasi polutan yang lebih tinggi di kota, yang dipicu oleh emisi dari kendaraan, industri, dan pembangkit listrik. Udara panas juga dapat mempercepat

reaksi kimia yang menghasilkan ozon troposferik, polutan berbahaya yang dapat merusak kesehatan manusia (Ridwan, 2024). Berdasarkan Badan Pusat Statistik Kota Malang jumlah kendaraan bermotor pada tahun 2023 sebanyak 722.992 unit. Kondisi peningkatan tersebut, selain memberikan dampak positif terhadap perekonomian, di sisi lain juga memberi dampak negatif berupa pencemaran udara akibat peningkatan emisi kendaraan bermotor (Miftachul Arif dkk., 2024).

Penelitian yang dilakukan oleh (Zhong dkk., 2019) memiliki hubungan antara *Urban Heat Island* (UHI) dan kualitas udara menunjukkan bahwa urbanisasi memperburuk polusi dan suhu, terutama terkait polutan seperti nitrogen dioksida (NO_2), sulfur dioksida (SO_2), karbon monoksida (CO), dan partikel halus ($PM_{2,5}$). Peningkatan suhu akibat UHI memperburuk kualitas udara dengan meningkatkan konsentrasi polutan ini, terutama ozon di permukaan tanah, yang terbentuk lebih cepat dalam kondisi panas. penelitian tersebut menyelidiki dampak konsentrasi $PM_{2,5}$ yang tinggi pada *Urban Heat Island* (UHI) di Beijing, China. Penelitian ini mengungkap bahwa Beijing sebagai kota metropolitan internasional, telah mengalami urbanisasi yang cepat. Konsentrasi $PM_{2,5}$ memiliki dampak negatif yang signifikan pada intensitas UHI permukaan (SUHII) pada siang hari, dengan koefisien korelasi $r = -0.6115$. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat $PM_{2,5}$ yang lebih tinggi dikaitkan dengan penurunan SUHII siang hari. Maka dilakukan strategi mitigasi dengan perencanaan kota peningkatan ruang hijau dan penerapan kontrol emisi yang lebih ketat untuk mengurangi tingkat $PM_{2,5}$, yang dapat membantu mengelola efek UHI dan meningkatkan kondisi iklim perkotaan secara keseluruhan.

Urban Heat Island (UHI) adalah fenomena peningkatan suhu di wilayah perkotaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah pedesaan sekitarnya (Zulkarnain, 2016). Fenomena ini terjadi karena material perkotaan, termasuk beton dan aspal, memiliki kapasitas yang lebih besar untuk menyerap dan menahan panas matahari dibandingkan dengan permukaan alami seperti tanah dan material (Nurlaelih & Damaiyanti, 2019). Efek *Urban Heat Island* terutama terjadi pada malam hari, karena suhu di daerah perkotaan bertahan pada tingkat yang lebih tinggi, sementara daerah pedesaan mengalami proses pendinginan yang lebih cepat. Faktor lain yang berkontribusi terhadap efek *Urban Heat Island* meliputi aktivitas antropogenik, termasuk pergerakan kendaraan dan operasi industri, yang melepaskan energi panas tambahan.



Gambar 2.1 Profil suhu Sumber : (Almeida dkk., 2021)

Penelitian (Almeida dkk., 2021) melakukan pengukuran perbedaan suhu antara wilayah urban dan rural, serta identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi intensitas UHI, seperti kepadatan bangunan dan ketersediaan ruang hijau. Mengamati jumlah publikasi yang lebih tinggi yang berfokus pada wilayah iklim tertentu, terutama di Asia dan Amerika Utara. Selain itu, pengaruh perubahan

penggunaan lahan dan urbanisasi. Pada Gambar 2.1 terdapat 2 kurva suhu satu untuk siang hari (jam 4 sore) dan satu untuk malam hari (jam 2 pagi). Kurva suhu siang hari menunjukkan puncak yang lebih tinggi di daerah perkotaan, menunjukkan efek UHI yang signifikan. Sedangkan suhu malam hari tetap tinggi di daerah perkotaan tetapi kurang dari pada siang hari. Studi ini menyoroti penerapan data dan teknik Penginderaan Jauh, yang memanfaatkan sensor termal pada satelit, drone, atau pesawat terbang untuk memperkirakan Suhu Permukaan Tanah (LST). Pendekatan ini sangat penting untuk menganalisis efek UHI.

Beberapa faktor yang berkontribusi terhadap fenomena *Urban Heat Island* (UHI) meliputi bahan konstruksi yang memiliki kemampuan menyerap dan mempertahankan energi panas, Bahan perkotaan, seperti beton dan aspal, menampilkan albedo rendah, menunjukkan bahwa mereka menyerap radiasi matahari dalam jumlah yang lebih besar dibandingkan dengan permukaan alami. Fenomena ini menyebabkan kenaikan suhu di daerah perkotaan dibandingkan dengan daerah pedesaan (Vujovic dkk., 2021). Fenomena *Urban Heat Island* (UHI) memiliki banyak efek merugikan pada lingkungan perkotaan, terutama ditandai dengan meningkatnya konsumsi energi yang disebabkan oleh ketergantungan yang lebih besar pada sistem pendingin udara, terutama selama bulan-bulan musim panas.

Kota Malang seperti banyak kota lain di Indonesia, mengalami fenomena UHI yang signifikan. Penelitian yang dilakukan oleh (Kusumaningrum dkk., 2022) bertujuan untuk mengatasi masalah ini dengan mengidentifikasi ruang terbuka hijau yang ada di Kota Malang dan daerah yang terkena fenomena UHI. Tujuannya

adalah untuk menentukan di mana ruang terbuka hijau baru dapat dikembangkan untuk mengurangi efek UHI. Peneliti menggunakan data tutupan lahan yang diperoleh melalui digitalisasi layar Google Earth untuk mengidentifikasi GOS yang ada. Penelitian ini menemukan bahwa Kota Malang memiliki total 4.214 hektar ruang terbuka hijau. Ini termasuk 3.635 hektar GOS swasta, yang menyumbang 34% dari total, dan 579 hektar GOS publik, membentuk 5% dari total luas. Penelitian ini menekankan pentingnya mengintegrasikan pertimbangan UHI ke dalam perencanaan kota. Dengan mengidentifikasi area dengan efek UHI yang signifikan.

2.4 Weighted Product

Metode *Weighted Product* (WP) merupakan salah satu pendekatan pengambilan keputusan multi-kriteria (*Multiple Criteria Decision Making/MCDM*) yang digunakan untuk memilih atau menilai alternatif berdasarkan beberapa kriteria yang telah ditetapkan (Diana, 2022). Metodologi ini memerlukan pemberian bobot pada setiap kriteria dan menghitung nilai alternatif berdasarkan hasil kali atau perkalian dari kriteria-kriteria yang telah diberi bobot. Dalam metode WP, setiap alternatif dievaluasi dengan cara mengalikan nilai setiap kriteria, di mana setiap nilai kriteria tersebut telah dipangkatkan oleh bobot yang sesuai. Proses ini menghasilkan nilai total untuk setiap alternatif, yang kemudian digunakan untuk menentukan alternatif mana yang terbaik.

Langkah langkah perhitungan metode *Weighted Product* (Khairina dkk., 2016) yaitu:

1. Menetapkan kriteria yang akan menjadi dasar dalam proses pengambilan keputusan.
2. Menilai rating kelayakan setiap alternatif berdasarkan setiap kriteria.
3. Menentukan nilai bobot dari setiap kriteria yang akan dijadikan perhitungan W

$$W_j = \frac{W_j}{\sum W_j} \quad (2.1)$$

Perhitungan ini akan menghasilkan nilai W yang berada dalam interval 0 hingga 1 ketika dijumlahkan nilai W sama dengan 1.

4. Selanjutnya mengalikan seluruh atribut bagi sebuah alternatif dengan bobot sebagai pangkat 1 untuk atribut yang memberikan manfaat (*Benefit*), sedangkan -1 untuk atribut yang menimbulkan biaya (*Cost*).

$$S_i = \prod_{j=1}^n X_{ij}^{W_j} \quad (2.2)$$

dimana, S_i adalah skor dari alternatif ke- i setelah mempertimbangkan semua kriteria. X_{ij} adalah nilai dari alternatif i terhadap kriteria j yang menjadi nilai performa dari alternatif tersebut dalam kriteria tersebut. W_j adalah bobot dari kriteria j , yang menunjukkan seberapa penting kriteria tersebut dibandingkan kriteria lainnya. $\prod$ adalah simbol perkalian untuk setiap j dari 1 hingga n (jumlah kriteria), yang menunjukkan bahwa mengalikan nilai X_{ij} yang sudah dipangkatkan dengan bobot W_j .

5. Hasil dari perkalian tersebut dijumlahkan dengan menghasilkan nilai V untuk setiap alternatif. Preferensi relatif yang terkait dengan setiap alternatif.

$$V_i = \frac{S_i}{\prod_{j=1}^n X_{ij}^{w_j}} \quad (2.3)$$

dimana, V_i adalah preferensi relatif dari alternatif ke- i . Ini menunjukkan seberapa baik suatu alternatif dibandingkan dengan alternatif lainnya setelah memperhitungkan semua kriteria yang ada. S_i adalah skor dari alternatif ke- i yang sudah dihitung sebelumnya. S_i ini merepresentasikan nilai alternatif berdasarkan pengalian nilai-nilai kriteria yang dipangkatkan dengan bobot masing-masing. X_j adalah nilai dari kriteria j , yang mewakili performa dari kriteria tersebut untuk semua alternatif. Bisa berupa nilai rata-rata atau standar yang digunakan sebagai pembanding. W_j adalah bobot dari kriteria j , yang menunjukkan tingkat kepentingan dari kriteria tersebut dalam proses pengambilan keputusan. n adalah jumlah total kriteria yang ada.

6. Mencari nilai alternatif ideal dan memberikan perangkingan. Metode *Weighted Product* ini banyak digunakan dalam pengambilan keputusan karena kesederhanaan perhitungannya dan kemampuannya dalam menangani berbagai jenis kriteria, baik yang menguntungkan (*benefit*) maupun yang merugikan (*cost*). Keakuratan hasil dari metode ini sangat bergantung pada bobot yang diberikan pada setiap kriteria dan pada evaluasi objektif dari alternatif-alternatif yang ada (Sudipa, Wardoyo, dkk., 2023).

2.5 Fuzzy

Metode *fuzzy* adalah pendekatan matematika yang digunakan untuk menangani ketidakpastian dan ambiguitas, terutama dalam sistem yang tidak dapat

dinyatakan dengan nilai-nilai pasti. Sistem *fuzzy* ini beroperasi dengan menggunakan himpunan *fuzzy* yang memungkinkan suatu variabel memiliki derajat keanggotaan yang berbeda antara 0 dan 1, mewakili tingkat ketidakpastian tersebut (Harir dkk., 2020). Metode *fuzzy* telah diterapkan di berbagai bidang, termasuk pengontrolan robot, pengelolaan risiko, diagnosa medis, dan sistem cerdas. Contohnya, dalam dunia industri, *fuzzy logic* digunakan untuk mengontrol mesin otomatis seperti pada kontrol proses di pabrik semen atau sistem navigasi kendaraan otomatis. Selain itu, dalam ilmu komputer, *fuzzy* digunakan dalam pengenalan pola, klasifikasi citra, serta pengambilan keputusan berbasis data yang ambigu (Tucan dkk., 2020).

Dalam sistem inferensi *fuzzy*, terdapat tiga metode utama yang sering digunakan yaitu Mamdani, Sugeno, dan Tsukamoto. Metode Mamdani menghasilkan output berupa himpunan *fuzzy* yang memerlukan proses defuzzifikasi untuk mendapatkan nilai tegas, sehingga cocok untuk aplikasi yang membutuhkan interpretasi linguistik. Metode Sugeno menghasilkan *output* dalam bentuk fungsi linear atau konstanta, yang membuatnya lebih efisien secara komputasi dan sesuai untuk sistem kontrol *real-time*. Sementara itu, metode Tsukamoto menghasilkan *output crisp* melalui rata-rata tertimbang dari *output* aturan dengan fungsi keanggotaan monotonik, memberikan hasil yang lebih jelas dalam beberapa konteks aplikasi. Pemilihan metode yang tepat bergantung pada kebutuhan spesifik dan karakteristik sistem yang akan dikembangkan (Widaningsih, 2017).

Pada penelitian ini sistem inferensi yang digunakan adalah *fuzzy* Mamdani dengan keunggulan utama dari *fuzzy* Mamdani dibandingkan metode *fuzzy* lainnya,

seperti Sugeno dan Tsukamoto, terletak pada aspek interpretasi dan fleksibilitasnya. *fuzzy* Mamdani menggunakan fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk *output*, sehingga hasil akhirnya dapat diinterpretasikan secara linguistik. Hal ini membuat metode Mamdani sangat intuitif dan mudah dipahami oleh manusia, sehingga cocok untuk aplikasi yang membutuhkan penjelasan yang dapat dimengerti, seperti sistem pendukung keputusan atau simulasi berbasis perilaku. Selain itu, Mamdani dapat digunakan untuk sistem dengan *Multiple Input Single Output* (MISO) maupun *Multiple Input Multiple Output* (MIMO), memberikan fleksibilitas lebih tinggi dibandingkan Sugeno yang hanya mendukung MISO (Pop dkk., 2023).

Langkah-langkah yang dilakukan pada proses *fuzzy* mamdani menggunakan *software* MATLAB sebagai berikut (V & Ahalya, 2024):

1. Pembentukan Himpunan *fuzzy*

Tahap awal dalam membangun sistem *fuzzy*, yaitu menentukan domain variabel *input* dan *output*, lalu menetapkan himpunan-himpunan *fuzzy* beserta fungsi keanggotaannya. Misalnya, jika kita ingin mengendalikan kipas pendingin berdasarkan suhu ruangan, maka variabel inputnya adalah *Suhu*, dengan nilai domain antara 0 hingga 40°C. Kita dapat menetapkan tiga himpunan *fuzzy* untuk suhu, yaitu “Rendah”, “Sedang”, dan “Tinggi”, masing-masing direpresentasikan dengan fungsi keanggotaan berbentuk trapesium atau segitiga. Demikian juga untuk *output*, misalnya kecepatan kipas (*Kecepatan*), kita bisa definisikan himpunan *fuzzy* seperti “Lambat”, “Sedang”, dan “Cepat”.

2. Fuzzifikasi

Proses mengubah *input* numerik (*crisp*) ke dalam bentuk nilai *fuzzy* berdasarkan derajat keanggotaannya terhadap fungsi keanggotaan yang sudah didefinisikan. Proses ini penting agar sistem *fuzzy* dapat memproses informasi yang kabur (tidak pasti). Jika misalnya suhu ruangan saat ini adalah 22°C, maka nilai ini akan memiliki derajat keanggotaan tertentu terhadap masing-masing himpunan *fuzzy* suhu. Misalnya, suhu 22°C mungkin memiliki keanggotaan 0,3 terhadap "Sedang" dan 0,7 terhadap "Tinggi". MATLAB akan secara otomatis melakukan proses fuzzifikasi.

3. Pembentukan Aturan *fuzzy* (*Rule Base*)

Penyusunan aturan-aturan logika berbasis *IF-THEN* untuk menghubungkan kondisi *input* dengan respons *output*. Aturan *fuzzy* bersifat linguistik dan dapat mencerminkan pengetahuan pakar atau pola-pola yang ditemukan dari data. Contohnya, “Jika Suhu Tinggi, maka Kecepatan Cepat” atau “Jika Suhu Sedang, maka Kecepatan Sedang”. Setiap aturan ini akan aktif berdasarkan hasil fuzzifikasi sebelumnya, dan memberikan kontribusi terhadap *output fuzzy*. Dalam MATLAB, aturan dapat dibuat menggunakan antarmuka *Rule Editor*.

4. Agregasi dan Defuzzifikasi

Dua proses akhir yang menyatukan keluaran *fuzzy* dari seluruh aturan dan mengubahnya kembali ke dalam nilai *crisp* (numerik). Agregasi adalah proses menggabungkan semua hasil *fuzzy* dari aturan-aturan yang aktif untuk memperoleh satu keluaran *fuzzy* gabungan. Setelah itu, defuzzifikasi

dilakukan untuk mengubah keluaran *fuzzy* menjadi nilai tegas yang dapat diterapkan secara langsung, misalnya untuk mengatur kecepatan kipas secara nyata. Di MATLAB, proses ini dilakukan secara otomatis saat fungsi *evalfis()* dipanggil. Metode defuzzifikasi yang umum digunakan adalah *centroid*, karena memberikan nilai rata-rata tertimbang dari semua nilai dalam himpunan *fuzzy* keluaran.

2.6 Unity 3D

Unity 3D merupakan sebuah *platform* pengembangan yang berfungsi sebagai *game engine* dan digunakan untuk mengembangkan sebuah *game* yang dapat digunakan di komputer, smartphone Android, iPhone, PS3, bahkan X-BOX (I. B. M. Mahendra, 2016). Unity menggunakan C# sebagai bahasa pemrogramannya, unity juga menawarkan kemudahan pengembangan dengan antarmuka intuitif dan fitur *rendering real-time*. Unity telah dilengkapi untuk memfasilitasi pembuatan grafik 3D dan 2D, selain menawarkan seperangkat alat yang komprehensif untuk kedua kategori grafik ini yang terus berkembang, sehingga menjadi semakin mudah digunakan dengan setiap iterasi. Unity juga dirancang dengan cermat untuk mengakomodasi para pengembang yang menggunakan *plugin* yang bersumber dari perangkat lunak eksternal. Selain itu, Unity memiliki *Asset Store* sendiri, yang menyediakan *plugin* penting bagi para pengembang *game*, yang dibuat oleh para pengembang untuk para pengembang, dan secara khusus disesuaikan dengan kebutuhan mereka (Nasution dkk., 2019).

Penelitian oleh (Kiss & Pusztai, 2022) *game* yang dibangun yaitu simulasi ekosistem menggunakan lingkungan 3D berdasarkan model predator mangsa.

Sistem ini dapat digunakan untuk memprediksi kepunahan spesies yang terancam punah dan mengeksplorasi strategi pencegahan. Untuk mencapai stabilisasi sistem dan simulasi yang lebih realistis, peneliti memasukkan evolusi genetik ke dalam model. Dengan mengintegrasikan algoritma evolusi gen, simulasi lebih efektif memodelkan lingkungan ekologis dibandingkan dengan kerangka kerja non-evolusi sebelumnya. Peningkatan ini memungkinkan simulasi yang lebih akurat dan realistis.

Selain itu, Unity 3D telah banyak digunakan dalam penelitian yang melibatkan simulasi lingkungan dan sistem kompleks. Misalnya, penelitian yang memanfaatkan Unity 3D dalam pengembangan simulasi mitigasi *Urban Heat Island* bertujuan untuk mengevaluasi dan mengimplementasikan strategi-strategi perbaikan di kota-kota yang terkena dampak. Dengan menggunakan sistem ini, peneliti dapat memvisualisasikan berbagai skenario perkotaan dan menguji dampak dari berbagai strategi yang dirancang untuk menurunkan suhu lingkungan dan memperbaiki kualitas hidup di wilayah perkotaan. Simulasi interaktif semacam ini memperlihatkan bagaimana intervensi fisik, seperti penghijauan atau perubahan material bangunan, dapat memberikan dampak signifikan terhadap pengurangan fenomena *Urban Heat Island*.

BAB III

RANCANGAN DAN DESAIN GAME

3.1 Rancangan Game

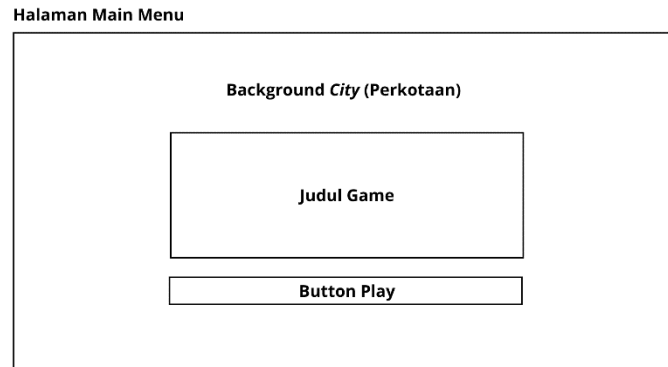
Game "EcoCity Strategist" merupakan game 3D dengan *genre mitigation* yang dirancang menggunakan Unity. Di dalam game ini, pemain akan dihadapkan pada tantangan untuk mengurangi nilai *Urban Heat Island* (UHI) di berbagai wilayah di Kota Malang. Setiap wilayah memiliki masalah dan pemain harus melakukan mitigasi pada setiap wilayah tersebut. Di wilayah yang dipilih, pemain akan memiliki beragam opsi mitigasi yang terdiri dari jalan, atap dan dinding. Setiap tindakan yang dipilih pemain berdampak langsung pada temperatur di wilayah tersebut. Pemain harus berupaya untuk menurunkan temperatur dengan memilih strategi yang efektif dan efisien.

Tujuan utama dari permainan adalah menurunkan temperatur di seluruh wilayah, sehingga menciptakan lingkungan yang lebih sejuk dan nyaman serta meningkatkan kualitas hidup penduduk di wilayah yang dimitigasi. Keberhasilan pemain diukur dari seberapa efektif mereka dalam mengelola berbagai wilayah dan mengimplementasikan solusi mitigasi *Urban Heat Island* (UHI).

3.1.1 Rancangan Antarmuka

Rancangan antarmuka (*User Interface/UI*) untuk *game "EcoCity Strategist"* harus dirancang untuk mendukung *gameplay* berbasis strategi mitigasi UHI, memberikan pengalaman terhadap bagi pemain. Berikut adalah penjelasan mengenai rancangan antarmuka dari *game* tersebut:

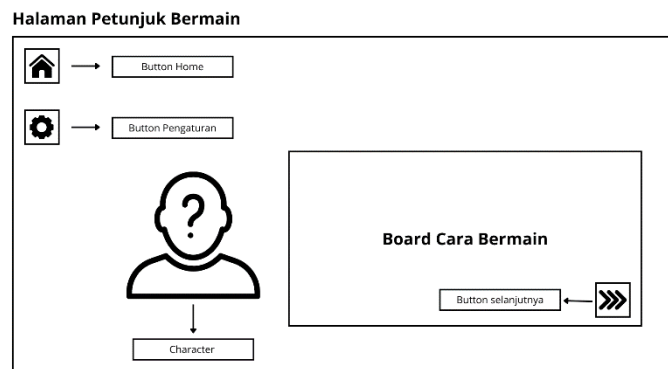
1. Tampilan Menu Awal (Main Menu)



Gambar 3.1 Main Menu Game

Pada Gambar 3.1 adalah layar pertama yang akan dilihat oleh pemain setelah game dimulai. Disini pemain memilih untuk memulai game dengan mengklik button *play*

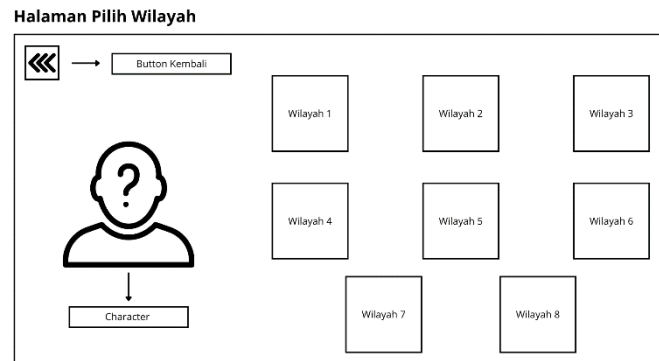
2. Menu Petunjuk



Gambar 3.2 Menu Cara Bermain

Setelah mengklik play button pemain akan diarahkan ke halaman petunjuk permainan. Di halaman ini dijelaskan bagaimana pemain harus menyelesaikan mitigasi di setiap wilayah seperti pada Gambar 3.2.

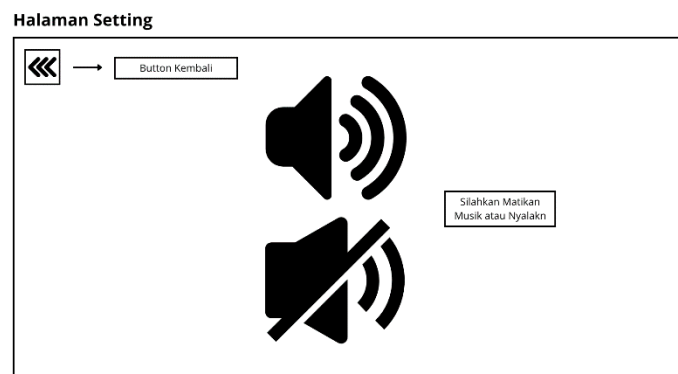
3. Menu Pilih Wilayah



Gambar 3.3 Menu Wilayah

Setelah pemain memulai permainan, mereka akan diarahkan ke layar pemilihan wilayah. Pada Gambar 3.3 pemain memilih daerah mana yang ingin mereka mitigasi efek UHI-nya dengan menggunakan berbagai strategi yang ada di game.

4. Menu Setting

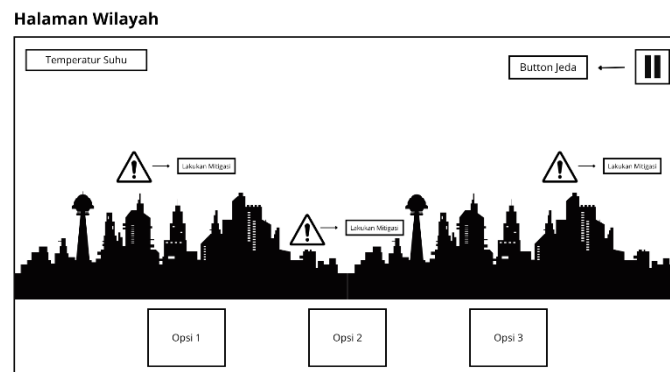


Gambar 3.4 Menu Setting

Pada Gambar 3.4 Di bagian ini, pemain dapat mengubah pengaturan suara pada saat memainkan *game*.

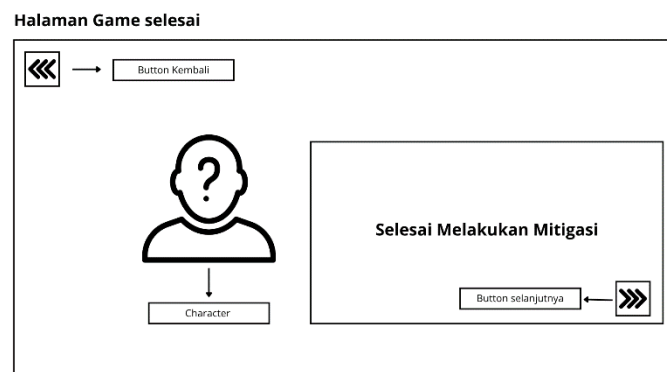
5. Play Game

Menu *play game* disini digunakan ketika pemain sudah masuk ke wilayah yang ingin dilakukan mitigasi



Gambar 3.5 Play Game

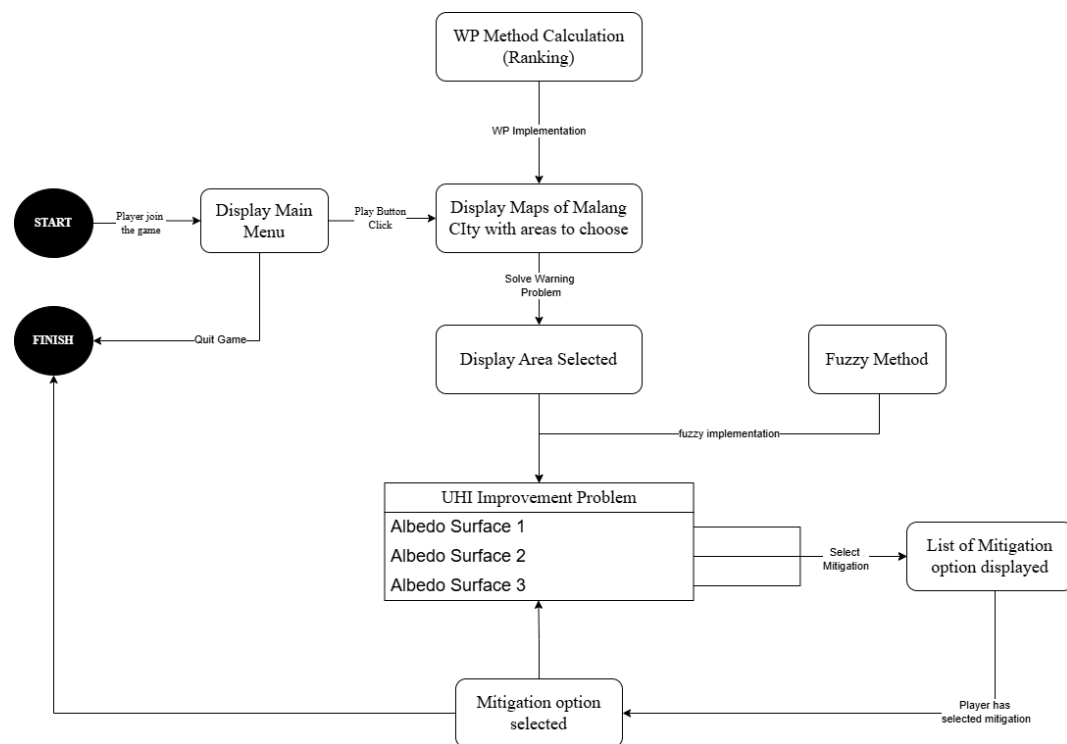
Pada Gambar 3.5 pemain dapat melihat wilayah dan terdapat alert dimana, alert tersebut harus di klik untuk memitigasi wilayah tersebut. Pemain memilih mitigasi apa yang dibutuhkan di wilayah tersebut. Setiap wilayah memiliki nilai mitigasi yang berbeda beda tergantung seberapa besar atau buruk UHI nya. Maka, pemain harus menyelesaikan semua alert yang muncul di setiap wilayahnya.



Gambar 3.6 Game Finish

Pada Gambar 3.6 Kondisi ketika pemain sudah menyelesaikan semua mitigasi. Maka nilai UHI di bar status menjadi hijau dan membaik. Untuk *Pop Up* yang memberikan penjelasan bahwa *game* telah selesai. Pemain dapat mengklik *button* “Panah Kanan” untuk bermain lagi.

3.1.2 Rancangan Game Menggunakan FSM



Gambar 3.7 FSM Ecocity

Pada Gambar 3.7 Desain *Finite State Machine* (FSM) dari game “*EcoCity Strategist*” menggambarkan alur permainan yang berfokus pada mitigasi masalah *Urban Heat Island* (UHI) di Kota Malang. Diagram *Finite State Machine* (FSM) yang diperbarui ini menggambarkan alur permainan dalam *game* strategi mitigasi *Urban Heat Island* (UHI) di Kota Malang dengan beberapa interaksi baru. Dimulai dengan pemain yang bergabung ke dalam permainan dan memilih untuk

melanjutkan permainan atau keluar, sistem akan menampilkan menu utama. Setelah itu, perhitungan WP dilakukan untuk menentukan *ranking* area-area yang ada di Kota Malang berdasarkan kriteria tertentu. Peta kota dengan pilihan area yang telah diprioritaskan kemudian ditampilkan, dan pemain dapat memilih salah satu area untuk dilakukan mitigasi lebih lanjut. Sistem juga menyelesaikan masalah atau peringatan yang mungkin muncul terkait pemilihan wilayah dan kriteria mitigasi. Setelah area dipilih, masalah peningkatan UHI di area tersebut diperkenalkan, dengan pemain diberikan beberapa opsi perbaikan albedo permukaan, yang melibatkan dinding, atap, dan jalan. Pada tahap ini, metode *fuzzy* Mamdani diterapkan untuk memberikan analisis dan solusi terkait mitigasi UHI. Selanjutnya, daftar opsi mitigasi yang tersedia ditampilkan, dan pemain memilih salah satu untuk diterapkan. Setelah mitigasi dipilih, sistem mengakhiri sesi permainan atau memberi kesempatan untuk melanjutkan ke area lain. Sistem ini menggabungkan perhitungan numerik melalui WP untuk menentukan prioritas mitigasi dan implementasi *fuzzy* untuk menghasilkan keputusan yang lebih tepat dalam mengatasi masalah UHI di area yang dipilih.

3.2 Rancangan Perhitungan Weighted Product

Metode *Weighted Product* (WP) merupakan salah satu teknik dalam *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) (Nuraini dkk., 2022). Metode *Weighted Product* (WP) dipilih dalam penelitian ini karena dalam konteks penelitian ini, kriteria yang digunakan, seperti luas permukaan dinding, atap, dan jalan, serta reflektivitas permukaan, memiliki satuan yang berbeda (m^2 untuk luas dan indeks untuk reflektivitas). WP memungkinkan untuk mengatasi perbedaan ini dengan

mengalikan nilai-nilai dan dipangkatkan berdasarkan bobot masing-masing kriteria (Wardhani & Lutfina, 2020). Hal ini memastikan bahwa setiap kriteria diberi peran yang proporsional dalam menentukan peringkat wilayah. WP sangat cocok digunakan ketika ada banyak alternatif (wilayah) yang dinilai dengan berbagai kriteria (luas permukaan dan reflektivitas). Dalam penelitian ini, WP memberikan peringkat yang membantu untuk menentukan wilayah mana yang harus diprioritaskan untuk dilakukan mitigasi terlebih dahulu. WP memberikan perbandingan berbobot antara wilayah yang berbeda berdasarkan kriteria yang relevan, yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi wilayah yang lebih mendesak untuk mitigasi. Wilayah yang memiliki nilai lebih tinggi berdasarkan kriteria-kriteria ini akan dianggap lebih *urgent* dan perlu segera dilakukan mitigasi untuk mengurangi dampak UHI.

3.2.1 Alternatif dan Kriteria

Alternatif dan kriteria yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari penelitian sebelumnya yang dilakukan di Kota Malang. Data yang didapatkan yaitu terdiri dari 8 wilayah yang mewakili wilayah yang membutuhkan mitigasi *Urban Heat Island*.

Tabel 3.1 Alternatif Wilayah

No	Nama Wilayah	Koordinat	Wilayah	Kategori
1	P11	- 7.9558253,112.652 6594	Jl Titan Asri - Jl Tita Raya - Jl Sulfat Agung – Jl Simpang Sulfat Utara	Perumahan
2	P29	- 7.9431827,112.594 1544	Perum Joyogrand – Jl Jerusalem - Jl Jeddah – Jl Chili - Jl Halmahera - Jl Terusan Joyo Taman Sari	Perumahan
3	P8	- 7.974393,112.6655 271	Jl Danau Panai - Jl Danau Tigi - Jl Danau Sentani Raya	Perumahan

4	P3	- 7.9349225,112.636 9252	Jl Ikan Nus 1 - Jl Ikan Layur - Jl Ikan Paus – Jl Taman Borobudhur Agung	Perumahan
5	UP51	- 7.9666487,112.648 0891	Jl Taman Sulfat 32 – Jl Widas Utara - Jl Widas – Jl Pamali - Jl Digul - Jl Comal - Jl Lusi - Jl Binor	Pemukiman
6	UP56	- 7.955241,112.6421 49	Jl Ciliwung - Jl Cimadur - Jl Citarum - Jl Cidurian - Jl Cisadane - Jl Cisadea – Jl Cimanuk - Jl Citadui – Jl Ciwulan	Pemukiman
7	UP87	- 7.9664626,112.643 7136	Jl Mayang - Jl Bondo Yudho - Jl Banyu Putih – Jl Pandan Laras - Jl Tuntang - Jl Girindulu - Jl Lesti - Jl Rawa - Jl Grindulu	Pemukiman
8	UP42	- 7.9514326,112.642 3919	Jl Karya Timur Wonosari - Jl Karya Timur Gg 1 – Jl Ciliwung 1,2,2A,2B – Jl Ciliwung Airdas – Jl Ciliwung	Pemukiman

Tabel 3.2 Kriteria

No	Kriteria	Nama Kriteria
1.	C1	Luas Permukaan Dinding (m^2)
2.	C2	Luas Permukaan Atap (m^2)
3.	C3	Luas Permukaan Jalan (m^2)
4.	C4	Reflektivitas Permukaan Dinding
5.	C5	Reflektivitas Permukaan Atap
6.	C6	Reflektivitas Permukaan Jalan

Pada Tabel 3.1 merupakan alternatif wilayah yang akan digunakan didalam penelitian ini. Terdapat 4 wilayah perumahan dan 4 wilayah permukiman yang menyajikan informasi wilayahnya mengenai nama wilayah, koordinat geografis, wilayah, dan ketegori masing-masing wilayah yang dijadikan lokasi penelitian. untuk memudahkan identifikasi kategori perumahan diubah menjadi P misalnya perumahan11 menjadi P11 dan seterusnya. Untuk identifikasi kategori permukiman diubah menjadi UP, misalnya permukiman51 menjadi UP51 dan seterusnya.

Pada Tabel 3.2 kriteria yang dipilih pada penelitian ini mencerminkan faktor-faktor utama yang memengaruhi fenomena *Urban Heat Island* (UHI). Luas

permukaan dinding (C1), atap (C2), dan jalan (C3) digunakan karena area permukaan yang lebih besar cenderung menyerap lebih banyak energi panas. Selanjutnya, reflektivitas permukaan dinding (C5), atap (C6), dan jalan (C6) dipilih untuk mengukur kemampuan material tersebut dalam memantulkan atau menyerap radiasi matahari. Material dengan reflektivitas rendah, seperti aspal atau beton gelap, menyerap sebagian besar energi matahari yang jatuh ke permukaan, menyebabkan peningkatan suhu yang signifikan. Sebaliknya, permukaan dengan reflektivitas tinggi, seperti atap atau jalan yang lebih terang, dapat memantulkan sebagian besar radiasi matahari, mengurangi penyerapan panas dan dengan demikian mengurangi suhu di sekitarnya (Wong dkk., 2024). Dengan kombinasi kriteria ini, analisis dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai kondisi wilayah, sekaligus mengidentifikasi yang paling efektif dalam strategi mitigasi UHI. Pemilihan kriteria ini bertujuan untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis data yang menyeluruh dan relevan terhadap fenomena yang sedang diteliti.

3.2.2 Menentukan Bobot untuk Setiap Kriteria

Penentuan bobot untuk setiap kriteria merupakan tahap penting dalam metode *Weighted Product* (WP), karena bobot mencerminkan tingkat kepentingan relatif dari setiap kriteria dalam proses pengambilan keputusan. Penentuan bobot diperoleh menggunakan metode ROC. Berikut merupakan rumus perhitungan bobot menggunakan ROC (Giang & Thinh, 2025).

$$W_j = \frac{1}{K} \sum_{i=j}^K \left(\frac{1}{i} \right) \quad (3.1)$$

W_j adalah nilai pembobotan atribut ke j , K adalah jumlah atribut (kriteria) dan i adalah urutan prioritas atribut. Berikut contoh penerepan rumus ROC. Misalkan $K = 6$, maka bobot prioritas pertama yaitu $W_1 = \frac{1}{6} \left(\frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{6} \right) = 0,41$. Jadi bobot prioritas pertama adalah 0,41. Bobot ini digunakan untuk memberikan penekanan terhadap kriteria-kriteria yang lebih signifikan dalam menentukan alternatif terbaik. Pada Tabel 3.3 menunjukkan bobot dari wilayah Perumahan dan Permukiman. Keterangan pada setiap kriteria yang terdiri dari *cost* dan *benefit*. *Benefit criteria* merupakan kriteria yang diharapkan untuk dimaksimalkan, di mana semakin tinggi nilai suatu alternatif terhadap kriteria ini, maka alternatif tersebut dianggap semakin baik. Sebaliknya, *cost criteria* merupakan kriteria yang diharapkan untuk diminimalkan, sehingga semakin rendah nilai suatu alternatif, maka performanya dianggap lebih optimal (Krishnan dkk., 2023).

Tabel 3.3 Bobot dari masing masing kriteria

No	Kriteria	Bobot	Keterangan
1.	Luas Permukaan Dinding (m^2)	0.41	<i>Cost</i>
2.	Luas Permukaan Atap (m^2)	0.24	<i>Cost</i>
3.	Luas Permukaan Jalan (m^2)	0.16	<i>Cost</i>
4.	Reflektivitas Permukaan Dinding	0.1	<i>Benefit</i>
5.	Reflektivitas Permukaan Atap	0.06	<i>Benefit</i>
6.	Reflektivitas Permukaan Jalan	0.03	<i>Benefit</i>

3.2.3 Membuat Matriks Keputusan

Matriks keputusan merupakan langkah penting dalam metode *Weighted Product* (WP), karena matriks ini memuat nilai-nilai alternatif terhadap masing-masing kriteria. Nilai-nilai dalam matriks keputusan ini digunakan sebagai dasar dalam proses perhitungan lebih lanjut, seperti normalisasi dan perhitungan nilai

preferensi. Matriks keputusan memberikan gambaran bagaimana setiap alternatif dievaluasi berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan. Matriks keputusan disusun dengan mengatur alternatif sebagai baris dan kriteria sebagai kolom. Setiap elemen dalam matriks ini merepresentasikan nilai atau skor dari suatu alternatif pada suatu kriteria tertentu. Penentuan nilai ini dilakukan melalui pengukuran, survei, atau hasil analisis dari data yang terkait dengan mitigasi *Urban Heat Island* (UHI) di Kota Malang, baik di wilayah Perumahan maupun Pemukiman. Proses pembuatan matriks keputusan ini menggunakan nilai asli dari masing-masing kriteria sebelum proses normalisasi dilakukan. Pada Tabel 3.4 merupakan matriks keputusan wilayah Perumahan dan pada Tabel 3.5 adalah matriks keputusan wilayah Pemukiman.

Tabel 3.4 Matriks Keputusan Wilayah Perumahan

Kriteria	Wilayah			
	P11	P29	P8	P3
Luas Permukaan Dinding (m^2)	26,303	24,158	34,77	34,013
Luas Permukaan Atap (m^2)	43,372	36,776	32,778	47,169
Luas Permukaan Jalan (m^2)	14,215	14,463	12,045	13,961
Reflektivitas Permukaan Dinding	0,42	0,55	0,42	0,55
Reflektivitas Permukaan Atap	0,26	0,26	0,26	0,26
Reflektivitas Permukaan Jalan	0,19	0,19	0,19	0,19

Tabel 3.5 Matriks Keputusan Wilayah Pemukiman

Kriteria	Wilayah			
	UP51	UP56	UP87	UP42
Luas Permukaan Dinding (m^2)	29,198	20,546	34,331	26,572
Luas Permukaan Atap (m^2)	41,354	30,633	45,183	39,057
Luas Permukaan Jalan (m^2)	5,753	4,292	7,328	4,648
Reflektivitas Permukaan Dinding	0,55	0,55	0,42	0,42
Reflektivitas Permukaan Atap	0,26	0,26	0,26	0,26
Reflektivitas Permukaan Jalan	0,19	0,19	0,19	0,19

3.2.4 Menghitung Nilai Vektor (S)

Pada metode *Weighted Product* (WP), nilai vektor S dihitung sebagai hasil dari perkalian semua nilai normalisasi terbobot yang telah diperoleh pada langkah sebelumnya. Hasil dari perhitungan nilai vektor S akan memberikan skor akhir untuk masing-masing alternatif yang menggambarkan seberapa baik alternatif tersebut dalam memenuhi semua kriteria. Pada Tabel 3.6 merupakan hasil dari nilai vektor S untuk wilayah Perumahan dan Tabel 3.7 untuk wilayah Pemukiman. Berdasarkan matriks keputusan sebelumnya diperoleh vektor S sebagai berikut.

Tabel 3.6 Nilai Vektor S Perumahan

Wilayah			
P11	P29	P8	P3
0,056033187	0,061498632	0,054578694	0,050635909

Tabel 3.7 Nilai Vektor S Permukiman

Wilayah			
UP51	UP56	UP87	UP42
0,064114343	0,083400384	0,055000014	0,068045857

3.2.5 Menghitung Nilai Vektor (V)

Setelah menentukan nilai vektor S untuk setiap alternatif pada subbab sebelumnya, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai vektor relatif V . Dengan menghitung nilai vektor relatif V , kita dapat lebih mudah membandingkan performa setiap alternatif. Nilai V yang lebih tinggi menunjukkan bahwa alternatif tersebut lebih unggul dibandingkan alternatif lainnya dalam hal memenuhi kriteria yang telah ditetapkan. Pada Tabel 3.8 dan Tabel 3.9 merupakan hasil nilai vektor V .

Tabel 3.8 Nilai Preferensi Wilayah Perumahan

Wilayah			
P11	P29	P8	P3
0,120663865	0,128078234	0,119758207	0,122065142

Tabel 3.9 Nilai Preferensi Wilayah Permukiman

Wilayah			
UP51	UP56	UP87	UP42
0,128292083	0,136489473	0,119390066	0,12526293

3.3 Rancangan Perhitungan Fuzzy

Perhitungan *fuzzy* dalam penelitian ini dirancang untuk memberikan solusi mitigasi *Urban Heat Island* (UHI). Metode *fuzzy* yang digunakan adalah logika *Fuzzy Mamdani*, karena kemampuannya dalam menangani ketidakpastian dan menghasilkan output linguistik yang mudah dipahami. *Fuzzy Mamdani* menggunakan aturan berbasis *IF-THEN* dan fungsi keanggotaan yang memungkinkan sistem untuk memproses data kuantitatif maupun kualitatif secara fleksibel. Karakteristik ini menjadikan metode Mamdani sangat sesuai untuk model evaluasi berbasis banyak kriteria (Tang & Ahmad, 2024).

3.3.1 Menentukan Variabel Input dan Output Fuzzy

Variabel *Input* adalah faktor-faktor yang mempengaruhi sistem yang sedang dianalisis. Dalam mitigasi *Urban Heat Island* (UHI), variabel input terdapat pada Tabel 3.10 berupa kriteria wilayah yang sebelumnya dipakai pada metode *weighted product*.

Tabel 3.10 Variabel *Input* dan *Output*

Variabel Input	Variabel Output
Luas Permukaan Dinding (m^2)	Albedo Permukaan (<i>Albedo Surface</i>)
Luas Permukaan Atap (m^2)	
Luas Permukaan Jalan (m^2)	
Reflektivitas Permukaan Dinding	
Reflektivitas Permukaan Atap	
Reflektivitas Permukaan Jalan	

Tabel 3.11 Variabel *Input* Sebelum Normalisasi

Wilayah	Luas Permukaan Dinding (m^2)	Luas Permukaan Atap (m^2)	Luas Permukaan Jalan (m^2)	Reflektivitas Permukaan Dinding	Reflektivitas Permukaan Atap	Reflektivitas Permukaan Jalan
P11	26,303	42,372	14,215	0,42	0,26	0,19
P29	24,158	36,776	14,463	0,55	0,26	0,19
P8	34,77	32,778	12,045	0,42	0,26	0,19
P3	34,013	47,169	13,961	0,55	0,26	0,19
UP51	29,198	41,354	5,753	0,55	0,26	0,19
UP56	20,546	30,633	4,292	0,55	0,26	0,19
UP87	34,331	45,183	7,328	0,42	0,26	0,19
UP42	26,572	39,057	4,648	0,42	0,26	0,19

Pada Tabel 3.11 merupakan kriteria yang akan digunakan sebagai variabel *input fuzzy*. Namun, untuk kolom reflektivitas jalan dan dinding memiliki nilai yang sama pada semua wilayah, sehingga kedua kriteria tersebut tidak akan digunakan ke dalam variabel *input fuzzy*. Dengan menyimulasikan penghapusan kriteria dan mengevaluasi efeknya ke dalam agregasi *fuzzy*, menunjukkan bahwa kriteria dengan kontribusi minimal dapat dihapus untuk meningkatkan performa dan efisiensi sistem tanpa kehilangan akurasi (Saidin dkk., 2023).

3.3.2 Normalisasi Matriks

Normalisasi variabel *input* dalam konteks *Fuzzy Logic* atau sistem lainnya adalah proses mengubah nilai *input* mentah (*raw input*) ke dalam rentang tertentu, biasanya antara 0 dan 1, memiliki skala yang sebanding dan sistem lebih mudah diproses (Santiago dkk., 2020). Proses normalisasi ini penting untuk memastikan bahwa semua input memiliki skala yang konsisten, sehingga tidak ada variabel yang mendominasi pengaruh hasil akhir hanya karena memiliki skala yang lebih besar (de Amorim dkk., 2023).

Dalam penelitian ini, proses normalisasi dilakukan dengan menentukan metode *min - max normalization*, yaitu dengan mengubah data asli berdasarkan acuan nilai *minimum maximum*.

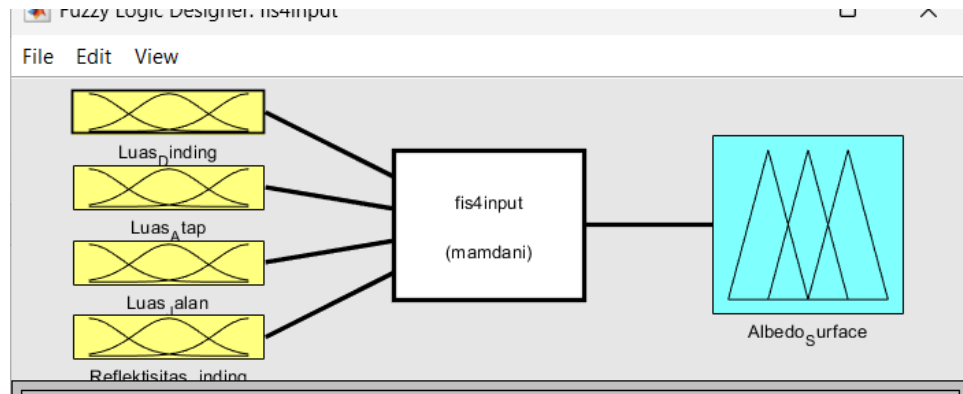
Tabel 3.12 Normalisasi matriks variabel input

Wilayah	Luas Permukaan Dinding (m^2)	Luas Permukaan Atap (m^2)	Luas Permukaan Jalan (m^2)	Reflektivitas Permukaan Dinding
P11	0,40473847	0,70990566	0,97561695	0
P29	0,253937008	0,371492501	1	1
P8	1	0,129716981	0,762265264	0
P3	0,94678009	1	0,950643988	1
UP51	0,608267717	0,648343009	0,143643693	1
UP56	0	0	0	1
UP87	0,96913667	0,879898403	0,298495723	0
UP42	0,423650169	0,509433962	0,035001475	0

Pada Tabel 3.12 menyajikan hasil normalisasi terhadap setiap variabel *input* pada masing-masing kriteria. Terdapat empat variabel *input* yang digunakan pada tahap pemrosesan *fuzzy*, yaitu: luas permukaan dinding, luas permukaan atap, luas permukaan jalan, serta reflektivitas permukaan dinding. Proses normalisasi ini dilakukan untuk menyelaraskan skala data ke dalam rentang $[0 - 1]$, sehingga memudahkan proses fuzzifikasi dan memastikan bahwa setiap variabel berkontribusi secara seimbang dalam sistem inferensi *fuzzy*.

3.3.3 Himpunan Fuzzy

Pada himpunan *fuzzy* mitigasi fenomena *Urban Heat Island*, terdapat variabel *input* dan variabel *output*. Berdasarkan data yang diperoleh dalam penelitian ini, Pada Gambar 3.8 variabel *input* terdiri dari 4 yaitu luas permukaan dinding, luas permukaan atap, luas permukaan jalan, serta reflektivitas permukaan dinding dan variabel *output* yaitu Albedo Permukaan (*Albedo Surface*).



Gambar 3.8 Himpunan Fuzzy

Kemudian menentukan semesta pembicaraan untuk variabel input dan output. Pada variabel input luas permukaan dinding, atap, jalan didefinisikan menjadi *Luas_Dinding*, *Luas_Atap*, *Luas_Jalan*, dan *Reflektivitas_Dinding* pada MATLAB untuk memudahkan identifikasi variabel. Untuk variabel *output* nya yaitu *Albedo Surface* didefinisikan *Albedo_Surface*.

Tabel 3.13 Semesta pembicaraan variabel fuzzy

Fungsi	Variabel	Semesta Pembicaraan
Input	Luas Permukaan Dinding	[0 1]
	Luas Permukaan Atap	[0 1]
	Luas Permukaan Jalan	[0 1]
	Reflektivitas Dinding	[0 1]
Output	Albedo Surface	[0.05 0.72]

Setelah membentuk *variable input* dan *variable output* pada Tabel 3.13, langkah selanjutnya adalah menentukan *range* semesta pembicaraan pada masing-masing variabel. Langkah untuk mendapatkan *range* semesta pembicaraan diperoleh dengan mengambil nilai *minimum* dan nilai *maksimum* dari nilai hasil normalisasi. Dimana variabel *input* Luas Permukaan Dinding memiliki semesta pembicaraan dengan range [0 1]. Kemudian variabel outputnya memiliki semesta pembicaraan [0.05 0.72]. Setelah menentukan *range* semesta pembicaraan dari

setiap *variable input* dan *output*. Selanjutnya akan dibentuk himpunan *fuzzy* dan domain dalam setiap variabel *input* dan *output*.

Tabel 3.14 Himpunan Fuzzy

Fungsi	Variabel	Himpunan Fuzzy	Semesta Pembicara	Domain
Input	Luas Permukaan Dinding	Rendah	[0 1]	[0 0 0.2 0.4]
		Sedang		[0.2 0.5 0.8]
		Tinggi		[0.6 0.8 1 1]
	Luas Permukaan Atap	Rendah	[0 1]	[0 0 0.2 0.4]
		Sedang		[0.2 0.5 0.8]
		Tinggi		[0.6 0.8 1 1]
	Luas Permukaan Jalan	Rendah	[0 1]	[0 0 0.2 0.4]
		Sedang		[0.2 0.5 0.8]
		Tinggi		[0.6 0.8 1 1]
	Reflektivitas Dinding	Rendah	[0 1]	[0 0 0.2 0.4]
		Sedang		[0.2 0.5 0.8]
		Tinggi		[0.6 0.8 1 1]
Output	Albedo Surface	Jalan	[0.05 0.72]	[0.05 0.05 0.098 0.146]
		Atap		[0.13 0.27 0.4]
		Dinding		[0.38 0.57 0.72 0.72]

Berdasarkan Tabel 3.14 diperoleh untuk Domain untuk himpunan *fuzzy* rendah, sedang dan tinggi menggunakan semesta pembicaraan pada Tabel 3.13. Domain diperoleh dengan membagi nilai semesta pembicaraan menjadi tiga bagian untuk membentuk domain dari rendah, sedang dan tinggi. Seperti pada luas permukaan dinding rendah memiliki domain [0 0 0.2 0.4]. Dan untuk variabel *output albedo surface* jalan [0.05 0.05 0.098 0.146]. Setelah mendapatkan himpunan *fuzzy* maka akan dilanjutkan ke tahap berikutnya yaitu proses fuzzifikasi.

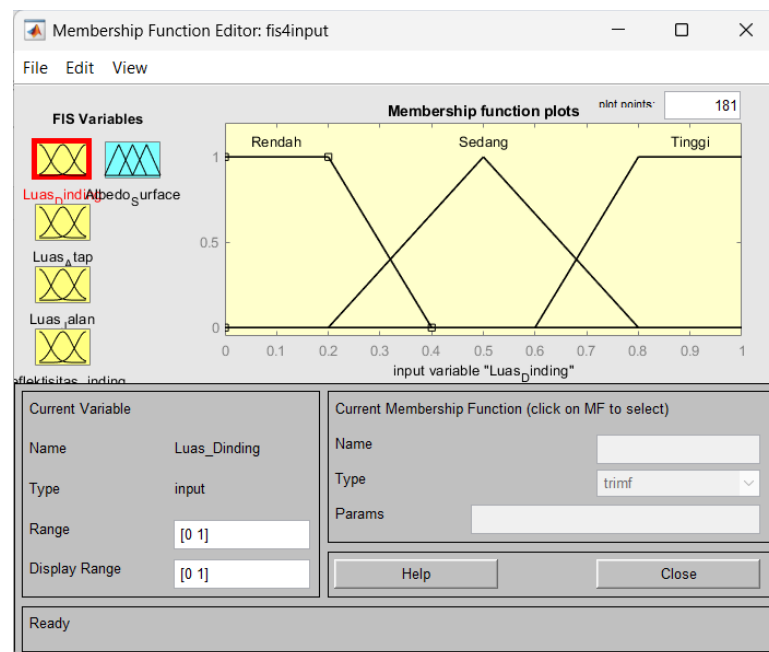
3.3.4 Fuzzifikasi

Setelah mendefinisikan himpunan *fuzzy* sebagai fondasi dalam pemodelan variabel *input* dan *output*, tahap selanjutnya adalah fuzzifikasi. Fuzzifikasi merupakan proses konversi data numerik ke dalam derajat keanggotaan *fuzzy*, yang berfungsi sebagai jembatan antara representasi data mentah dan logika *fuzzy*

(Shakirova dkk., 2021). Dengan demikian, nilai-nilai yang awalnya bersifat eksak dapat diinterpretasikan secara linguistik, sehingga sistem *fuzzy* mampu menangani ketidakpastian dan kompleksitas data secara lebih efektif.

1. Luas Permukaan Dinding

Berdasarkan Tabel 3.14 diperoleh untuk pembentukan himpunan *fuzzy* pada variabel *input* Luas Permukaan Dinding yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Selain itu, diperoleh juga *domain* untuk setiap himpunan *fuzzy*, di mana rendah memiliki *domain* [0 0 0.2 0.4], sedang memiliki *domain* [0.2 0.5 0.8] dan tinggi memiliki *domain* [0.6 0.8 1 1]. Dari range pada masing-masing domain akan dibentuk derajat fungsi keanggotaan, sehingga membentuk plot berupa dua trapesium dan satu *triangular*. Langkah pembentukan derajat fungsi keanggotaan adalah sebagai berikut.



Gambar 3.9 Fungsi Keanggotaan Luas Permukaan Dinding

Fungsi keanggotaan untuk variabel rendah menggunakan fungsi keanggotaan *trapezoid*, yang didefinisikan dalam tiga interval, yaitu: [0 0 0.2 0.4] Fungsi keanggotannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu_{Rendah}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 0 \\ \frac{0.4 - x}{0.4 - 0.2} & 0 < x \leq 0.4 \\ 0 & x > 0.4 \end{cases}$$

Untuk fungsi keanggotaan sedang, digunakan fungsi keanggotaan segitiga yang mencakup [0.2 0.5 0.8]. Fungsi keanggotaannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu_{Sedang}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0.2 \text{ atau } x > 0.8 \\ \frac{x - 0.2}{0.5 - 0.2} & 0.2 < x \leq 0.5 \\ \frac{0.8 - x}{0.8 - 0.5} & 0.5 < x \leq 0.8 \end{cases}$$

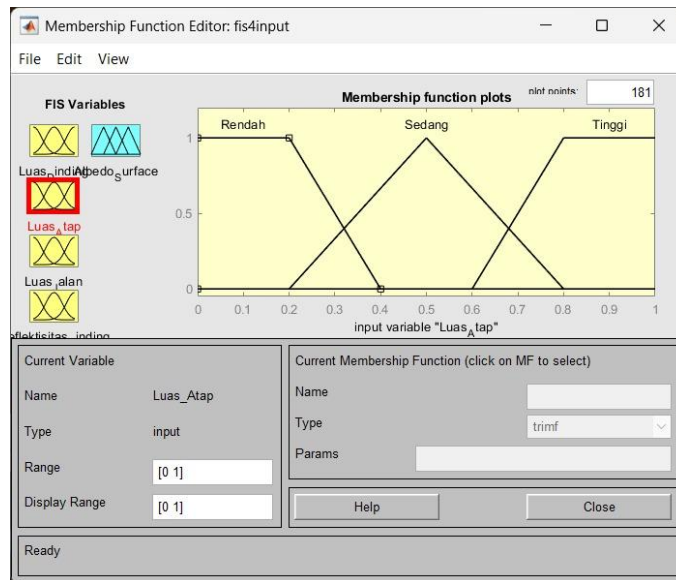
Untuk fungsi keanggotaan tinggi, digunakan fungsi keanggotaan *trapezoid* dengan sifat linier naik, yang mencakup [0.6 0.8 1 1]. Fungsi keanggotaannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0.6 \text{ atau } x > 1 \\ \frac{x - 0.6}{0.8 - 0.6} & 0.6 < x \leq 0.8 \\ 1 & 0.8 < x \leq 1 \end{cases}$$

2. Luas Permukaan Atap

Berdasarkan Tabel 3.14 diperoleh untuk pembentukan himpunan *fuzzy* pada variabel *input* Luas Permukaan Atap yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Selain itu, diperoleh juga *domain* untuk setiap himpunan *fuzzy*, di mana rendah memiliki *domain* [0 0 0.2 0.4], sedang memiliki *domain* [0.2 0.5 0.8] dan tinggi memiliki *domain* [0.6 0.8 1 1]. Dari range pada masing-masing *domain*

akan dibentuk derajat fungsi keanggotaan, sehingga membentuk plot berupa dua trapesium dan satu *triangular*. Langkah pembentukan derajat fungsi keanggotaan adalah sebagai berikut.



Gambar 3.10 Fungsi Keanggotaan Luas Permukaan Atap

Fungsi keanggotaan untuk variabel rendah menggunakan fungsi keanggotaan *trapezoid*, yang didefinisikan dalam tiga interval, yaitu: $[0 \ 0 \ 0.2 \ 0.4]$ Fungsi keanggotannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu_{Rendah}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 0 \\ \frac{0.4 - x}{0.4 - 0.2} & 0 < x \leq 0.4 \\ 0 & x > 0.4 \end{cases}$$

Untuk fungsi keanggotaan sedang, digunakan fungsi keanggotaan segitiga yang mencakup $[0.2 \ 0.5 \ 0.8]$. Fungsi keanggotaannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

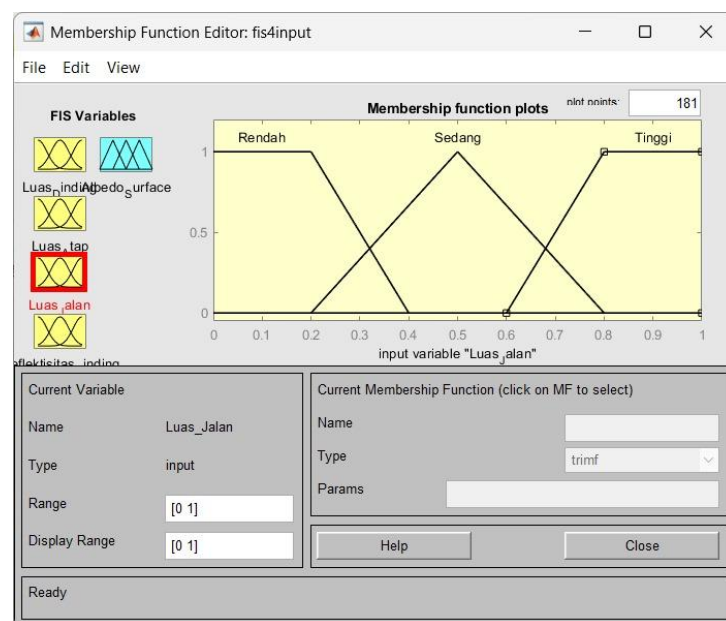
$$\mu_{Sedang}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0.2 \text{ atau } x > 0.8 \\ \frac{x - 0.2}{0.5 - 0.2} & 0.2 < x \leq 0.5 \\ \frac{0.8 - x}{0.8 - 0.5} & 0.5 < x \leq 0.8 \end{cases}$$

Untuk fungsi keanggotaan tinggi, digunakan fungsi keanggotaan *trapezoid* dengan sifat linier naik, yang mencakup $[0.6 \ 0.8 \ 1 \ 1]$. Fungsi keanggotaannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0.6 \text{ atau } x > 1 \\ \frac{x - 0.6}{0.8 - 0.6} & 0.6 < x \leq 0.8 \\ 1 & 0.8 < x \leq 1 \end{cases}$$

3. Luas Permukaan Jalan

Berdasarkan Tabel 3.14 diperoleh untuk pembentukan himpunan *fuzzy* pada variabel *input* Luas Permukaan Jalan yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Selain itu, diperoleh juga domain untuk setiap himpunan *fuzzy*, di mana rendah memiliki *domain* $[0 \ 0 \ 0.2 \ 0.4]$, sedang memiliki *domain* $[0.2 \ 0.5 \ 0.8]$ dan tinggi memiliki *domain* $[0.6 \ 0.8 \ 1 \ 1]$. Dari *range* pada masing-masing *domain* akan dibentuk derajat fungsi keanggotaan, sehingga membentuk *plot* berupa dua trapesium dan satu *triangular*. Langkah pembentukan derajat fungsi keanggotaan adalah sebagai berikut.



Gambar 3.11 Fungsi Keanggotaan Luas Permukaan Jalan

Fungsi keanggotaan untuk variabel rendah menggunakan fungsi keanggotaan *trapezoid*, yang didefinisikan dalam tiga interval, yaitu: [0 0 0.2 0.4] Fungsi keanggotannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu_{Rendah}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 0 \\ \frac{0.4 - x}{0.4 - 0.2} & 0 < x \leq 0.4 \\ 0 & x > 0.4 \end{cases}$$

Untuk fungsi keanggotaan sedang, digunakan fungsi keanggotaan segitiga yang mencakup [0.2 0.5 0.8]. Fungsi keanggotaannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu_{Sedang}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0.2 \text{ atau } x > 0.8 \\ \frac{x - 0.2}{0.5 - 0.2} & 0.2 < x \leq 0.5 \\ \frac{0.8 - x}{0.8 - 0.5} & 0.5 < x \leq 0.8 \end{cases}$$

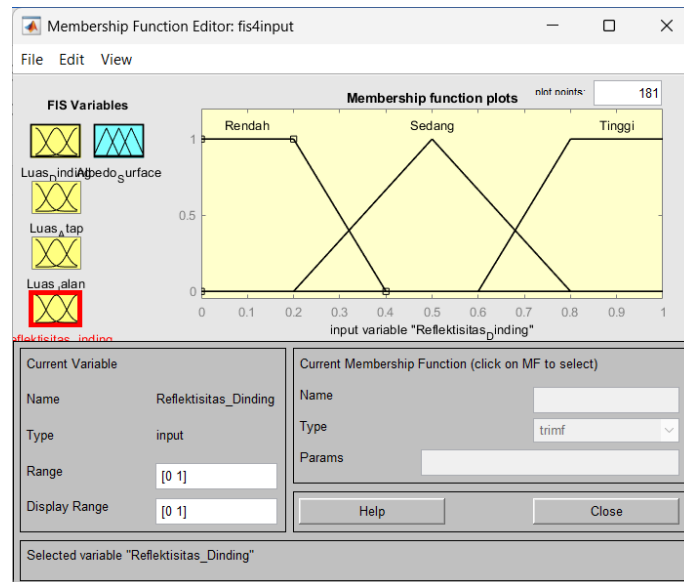
Untuk fungsi keanggotaan tinggi, digunakan fungsi keanggotaan *trapezoid* dengan sifat linier naik, yang mencakup [0.6 0.8 1 1]. Fungsi keanggotaannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0.6 \text{ atau } x > 1 \\ \frac{x - 0.6}{0.8 - 0.6} & 0.6 < x \leq 0.8 \\ 1 & 0.8 < x \leq 1 \end{cases}$$

4. Reflektivitas Dinding

Berdasarkan Tabel 3.14 diperoleh untuk pembentukan himpunan *fuzzy* pada variabel *input* Reflektivitas Permukaan Dinding yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Selain itu, diperoleh juga domain untuk setiap himpunan *fuzzy*, di mana rendah memiliki *domain* [0 0 0.2 0.4], sedang memiliki *domain* [0.2 0.5 0.8] dan tinggi memiliki *domain* [0.6 0.8 1 1]. Dari range pada masing-masing

domain akan dibentuk derajat fungsi keanggotaan, sehingga membentuk plot berupa dua trapesium dan satu *triangular*. Langkah pembentukan derajat fungsi keanggotaan adalah sebagai berikut.



Gambar 3.12 Fungsi Keanggotaan Reflektivitas Permukaan Dinding

Fungsi keanggotaan untuk variabel rendah menggunakan fungsi keanggotaan *trapezoid*, yang didefinisikan dalam tiga interval, yaitu: [0 0 0.2 0.4] Fungsi keanggotannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu_{Rendah}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 0 \\ \frac{0.4 - x}{0.4 - 0.2} & 0 < x \leq 0.4 \\ 0 & x > 0.4 \end{cases}$$

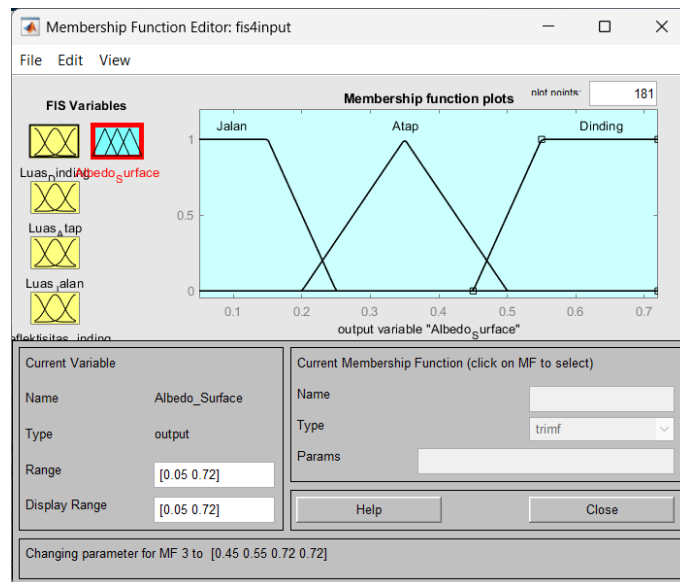
Untuk fungsi keanggotaan sedang, digunakan fungsi keanggotaan segitiga yang mencakup [0.2 0.5 0.8]. Fungsi keanggotaannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu_{Sedang}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0.2 \text{ atau } x > 0.8 \\ \frac{x - 0.2}{0.5 - 0.2} & 0.2 < x \leq 0.5 \\ \frac{0.8 - x}{0.8 - 0.5} & 0.5 < x \leq 0.8 \end{cases}$$

Untuk fungsi keanggotaan tinggi, digunakan fungsi keanggotaan *trapezoid* dengan sifat linier naik, yang mencakup [0.6 0.8 1 1]. Fungsi keanggotaannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0.6 \text{ atau } x > 1 \\ \frac{x - 0.6}{0.8 - 0.6} & 0.6 < x \leq 0.8 \\ 1 & 0.8 < x \leq 1 \end{cases}$$

5. Output Material



Gambar 3.13 Himpunan Output Fuzzy Material

Fungsi keanggotaan jalan menggunakan fungsi keanggotaan *trapezoid* dengan interval [0, 0.05] dan [0.05, 0.25]. Fungsi ini memiliki nilai 1 pada interval (0 sampai 0.25), kemudian menurun secara linier hingga 0 pada nilai 0.146. Fungsi keanggotaannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu_{Jalan}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 0.05 \\ \frac{0.15 - x}{0.10} & 0.05 < x \leq 0.15 \\ \frac{0.25 - x}{0.10} & 0.15 < x < 0.25 \\ 0 & x \geq 0.25 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan atap menggunakan fungsi keanggotaan segitiga dengan interval $[0.2, 0.35]$ dan $[0.35, 0.5]$. Fungsi ini dimulai dari nilai keanggotaan 0 pada titik 0.2 yang meningkat secara linier hingga mencapai nilai maksimum pada titik 0.35 dan kemudian menurun lagi hingga 0 pada titik 0.5. Fungsi keanggotaannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu_{Atap}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0.2 \text{ atau } x > 0.5 \\ \frac{x - 0.2}{0.15} & 0.2 < x \leq 0.35 \\ \frac{0.50 - x}{0.15} & 0.35 < x \leq 0.5 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan dinding menggunakan fungsi keanggotaan *trapezoid* dengan interval $[0.45, 0.55]$. Fungsi ini dimulai dari nilai keanggotaan 0 pada titik 0.45, meningkat hingga mencapai nilai maksimum pada titik 0.55 dan tetap pada nilai keanggotaan 1 setelahnya. Fungsi keanggotaannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu_{Dinding}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0.45 \\ \frac{x - 0.45}{0.1} & 0.45 < x \leq 0.55 \\ 1 & 0.55 < x \leq 0.72 \\ 1 & x > 0.72 \end{cases}$$

3.3.5 Pembentukan Aturan Fuzzy

Setelah proses fuzzifikasi yang mengubah data numerik ke dalam bentuk nilai keanggotaan *fuzzy*, langkah selanjutnya adalah pembentukan aturan *fuzzy*. Pada tahap ini, relasi antara variabel *input* dan *output* ditetapkan dengan menetapkan aturan berbasis pengetahuan pakar. Aturan-aturan tersebut berfungsi untuk menentukan respons system yaitu material yang direkomendasikan

berdasarkan tingkat preferensi material yang telah difuzzifikasi (Özmen-Akyol dkk., 2021). Dengan kata lain, pembentukan aturan *fuzzy* menjadi jembatan yang menghubungkan hasil fuzzifikasi dengan *output* yang diharapkan, sehingga sistem *fuzzy* dapat menangani dinamika dan ketidakpastian data dengan lebih efektif.

Tabel 3.15 Rule Base

Luas_Dinding	Luas_Atap	Luas_Jalan	Reflektivitas_Dinding	Albedo_Surface
Rendah	Rendah	Rendah	Rendah	Dinding
Rendah	Rendah	Rendah	Sedang	Dinding
Rendah	Rendah	Rendah	Tinggi	Dinding
Rendah	Rendah	Sedang	Rendah	Jalan
Rendah	Rendah	Sedang	Sedang	Jalan
Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Jalan
Rendah	Rendah	Tinggi	Rendah	Jalan
Rendah	Rendah	Tinggi	Sedang	Jalan
Rendah	Rendah	Tinggi	Tinggi	Jalan
Rendah	Sedang	Rendah	Rendah	Atap
Rendah	Sedang	Rendah	Sedang	Dinding
Rendah	Sedang	Rendah	Tinggi	Dinding
Rendah	Sedang	Sedang	Rendah	Jalan
Rendah	Sedang	Sedang	Sedang	Jalan
Rendah	Sedang	Sedang	Tinggi	Jalan
Rendah	Sedang	Tinggi	Rendah	Jalan
Rendah	Sedang	Tinggi	Sedang	Jalan
Rendah	Sedang	Tinggi	Tinggi	Jalan
Rendah	Tinggi	Rendah	Rendah	Atap

Luas_Dinding	Luas_Atap	Luas_Jalan	Reflektivitas_Dinding	Albedo_Surface
Rendah	Tinggi	Rendah	Sedang	Atap
Rendah	Tinggi	Rendah	Tinggi	Dinding
Rendah	Tinggi	Sedang	Rendah	Jalan
Rendah	Tinggi	Sedang	Sedang	Jalan
Rendah	Tinggi	Sedang	Tinggi	Jalan
Rendah	Tinggi	Tinggi	Rendah	Jalan
Rendah	Tinggi	Tinggi	Sedang	Jalan
Rendah	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Jalan
Sedang	Rendah	Rendah	Rendah	Dinding
Sedang	Rendah	Rendah	Sedang	Dinding
Sedang	Rendah	Rendah	Tinggi	Dinding
Sedang	Rendah	Sedang	Rendah	Jalan
Sedang	Rendah	Sedang	Sedang	Jalan
Sedang	Rendah	Sedang	Tinggi	Jalan
Sedang	Rendah	Tinggi	Rendah	Jalan
Sedang	Rendah	Tinggi	Sedang	Jalan
Sedang	Rendah	Tinggi	Tinggi	Jalan
Sedang	Sedang	Rendah	Rendah	Dinding
Sedang	Sedang	Rendah	Sedang	Dinding
Sedang	Sedang	Rendah	Tinggi	Dinding
Sedang	Sedang	Sedang	Rendah	Jalan
Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Jalan
Sedang	Sedang	Sedang	Tinggi	Jalan
Sedang	Sedang	Tinggi	Rendah	Jalan

Luas_Dinding	Luas_Atap	Luas_Jalan	Reflektivitas_Dinding	Albedo_Surface
Sedang	Sedang	Tinggi	Sedang	Jalan
Sedang	Sedang	Tinggi	Tinggi	Jalan
Sedang	Tinggi	Rendah	Rendah	Atap
Sedang	Tinggi	Rendah	Sedang	Atap
Sedang	Tinggi	Rendah	Tinggi	Dinding
Sedang	Tinggi	Sedang	Rendah	Jalan
Sedang	Tinggi	Sedang	Sedang	Jalan
Sedang	Tinggi	Sedang	Tinggi	Jalan
Sedang	Tinggi	Tinggi	Rendah	Jalan
Sedang	Tinggi	Tinggi	Sedang	Jalan
Sedang	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Jalan
Tinggi	Rendah	Rendah	Rendah	Dinding
Tinggi	Rendah	Rendah	Sedang	Dinding
Tinggi	Rendah	Rendah	Tinggi	Dinding
Tinggi	Rendah	Sedang	Rendah	Jalan
Tinggi	Rendah	Sedang	Sedang	Jalan
Tinggi	Rendah	Sedang	Tinggi	Jalan
Tinggi	Rendah	Tinggi	Rendah	Jalan
Tinggi	Rendah	Tinggi	Sedang	Jalan
Tinggi	Rendah	Tinggi	Tinggi	Jalan
Tinggi	Sedang	Rendah	Rendah	Dinding
Tinggi	Sedang	Rendah	Sedang	Dinding
Tinggi	Sedang	Rendah	Tinggi	Dinding
Tinggi	Sedang	Sedang	Rendah	Jalan

Luas_Dinding	Luas_Atap	Luas_Jalan	Reflektivitas_Dinding	Albedo_Surface
Tinggi	Sedang	Sedang	Sedang	Jalan
Tinggi	Sedang	Sedang	Tinggi	Jalan
Tinggi	Sedang	Tinggi	Rendah	Jalan
Tinggi	Sedang	Tinggi	Sedang	Jalan
Tinggi	Sedang	Tinggi	Tinggi	Jalan
Tinggi	Tinggi	Rendah	Rendah	Atap
Tinggi	Tinggi	Rendah	Sedang	Atap
Tinggi	Tinggi	Rendah	Tinggi	Dinding
Tinggi	Tinggi	Sedang	Rendah	Jalan
Tinggi	Tinggi	Sedang	Sedang	Jalan
Tinggi	Tinggi	Sedang	Tinggi	Jalan
Tinggi	Tinggi	Tinggi	Rendah	Jalan
Tinggi	Tinggi	Tinggi	Sedang	Jalan
Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Jalan

Pembentukan aturan *fuzzy* (*Rule Base*) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.15 disusun aturan-aturan *fuzzy* disusun untuk merepresentasikan relasi antara variabel input seperti Luas_Dinding, Luas_Atap, Luas_Jalan, dan Reflektivitas_Dinding, terhadap output berupa jenis material mitigasi yang direkomendasikan, yaitu Dinding, Atap, atau Jalan. Masing-masing variabel input diklasifikasikan ke dalam tiga himpunan linguistik *fuzzy*, yakni Rendah, Sedang, dan Tinggi. Oleh karena itu, total kombinasi yang mungkin dari seluruh input adalah sebanyak $3^4 = 81$ aturan *fuzzy*. Jumlah ini mencerminkan semua kemungkinan kombinasi nilai linguistik yang dapat muncul dari empat variabel

input tersebut. Setiap kombinasi input akan menghasilkan satu aturan *fuzzy* yang mengarah pada satu rekomendasi material, sehingga sistem dapat memberikan keputusan yang lebih akurat dan adaptif terhadap dinamika data lingkungan. Misalnya, pada kondisi *If (Luas_Dinding is Rendah) and (Luas_Atap is Rendah) and (Luas_Jalan is Sedang) and (Reflektisitas_Dinding is Rendah) then (Albedo_Surface is Jalan) (1)*, sistem mungkin merekomendasikan penggunaan *Albedo Surface* Jalan sebagai strategi mitigasi. Dengan demikian, pembentukan rule base menjadi jembatan yang menghubungkan hasil fuzzifikasi dengan output yang diharapkan, serta memperkuat kemampuan sistem dalam menangani ketidakpastian dan kompleksitas data.

3.3.6 Agregasi dan Defuzzifikasi

Agregasi dalam logika *fuzzy* adalah proses penggabungan nilai keanggotaan output yang dihasilkan oleh setiap aturan *fuzzy*, sehingga membentuk satu himpunan output tunggal yang merepresentasikan keseluruhan respons sistem (Fioravanti, 2024). Setelah proses agregasi, dilakukan defuzzifikasi, yaitu konversi dari nilai *fuzzy* yang telah diagregasi ke dalam bentuk nilai crisp atau eksak. Proses defuzzifikasi ini sangat krusial karena menghasilkan output yang konkret dan dapat diterapkan secara langsung dalam pengambilan keputusan.

Pendekatan agregasi dan defuzzifikasi telah dapat meningkatkan keandalan sistem pendukung, dengan menghasilkan nilai output yang lebih representatif terhadap kondisi nyata.



Gambar 3.14 Hasil Agregasi dan Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan tahap akhir pada perhitungan *fuzzy* mamdani, di mana nilai *fuzzy* yang dihasilkan dari proses agregasi diubah menjadi nilai *crisp* yang dapat digunakan sebagai *output* akhir. Output ini merepresentasikan hasil keputusan sistem berdasarkan logika *fuzzy*, dalam konteks ini berupa rekomendasi albedo surface mitigasi yang paling sesuai dengan tingkat preferensi material yang diberikan. Pada Tabel 3.16 merupakan hasil mitigasi dari proses *fuzzy*.

Tabel 3.16 Hasil Mitigasi

No	Wilayah	Hasil Mitigasi
1	UP56	0.593 (Dinding)
2	UP51	0.574 (Dinding)
3	P29	0.090 (Jalan)
4	UP42	0.584 (Dinding)
5	P3	0.086 (Jalan)
6	P11	0.090 (Jalan)
7	P8	0.087 (Jalan)
8	UP87	0.227 (Atap)

3.4 Rencana Pengujian System Usability Scale

Rencana pengujian sistem game ini menggunakan *System Usability Scale*. Tujuan dari pengujian system tersebut untuk mengukur kemudahan penggunaan sistem dan tingkat kepuasan pengguna terhadap antarmuka dan fungsionalitas sistem mitigasi *Urban Heat Island* berbasis game ini. Metode *SUS* menggunakan 10 pernyataan yang ada pada Tabel 3.16 dengan skala Likert dari 1 (sangat tidak

setuju) hingga 5 (sangat setuju) di Tabel 3.17. Peserta akan diminta menjawab setiap pernyataan berdasarkan pengalaman mereka dalam menggunakan sistem.

Dalam *usability testing*, terdapat beberapa aspek penting yang menjadi dasar evaluasi terhadap suatu aplikasi atau sistem. Aspek-aspek tersebut meliputi *learnability*, *memorability*, *efficiency*, *error*, dan *satisfaction* (Sidharta & Putri, 2023). Uraian masing-masing aspek adalah sebagai berikut:

1. *Learnability*: Mengacu pada sejauh mana kemudahan pengguna dalam memahami dan menggunakan sebuah aplikasi atau sistem, terutama dalam mengoperasikan fitur dan fungsi yang tersedia sejak pertama kali digunakan.
2. *Memorability*: Merupakan kemampuan pengguna untuk tetap mengingat cara penggunaan aplikasi setelah tidak mengaksesnya dalam jangka waktu tertentu. Aspek ini dipengaruhi oleh konsistensi desain antarmuka, termasuk susunan elemen yang tidak banyak berubah.
3. *Efficiency*: Berkaitan dengan tingkat kecepatan dan efisiensi pengguna dalam menyelesaikan tugas-tugas tertentu atau dalam mengakses fitur-fitur dalam aplikasi secara optimal.
4. *Error*: Menyoroti seberapa sering dan seberapa besar kesalahan yang dialami pengguna ketika menggunakan sistem, serta kemudahan mereka dalam mengenali dan memperbaiki kesalahan tersebut.
5. *Satisfaction*: Menggambarkan tingkat kepuasan yang dirasakan pengguna setelah menggunakan aplikasi, termasuk persepsi terhadap kegunaan, kenyamanan, dan manfaat yang diperoleh selama interaksi dengan sistem.

Tabel 3.17 instrumen pengujian *System Usability Scale (SUS)*

No.	Pernyataan	Skala Likert (1-5)	Kategori
Q1	Fitur-fitur dalam sistem ini mudah dipahami.	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5	Learnability
Q2	Saya membutuhkan bantuan teknis untuk dapat menggunakan sistem ini.	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5	
Q3	Game ini memungkinkan saya untuk menyelesaikan misi mitigasi UHI secara efisien.	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5	Efficiency
Q4	Proses navigasi dan kontrol dalam game ini terasa lambat atau tidak praktis.	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5	
Q5	Saya merasa alur permainan dan fitur game ini mudah diingat.	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5	Memorability
Q6	Jika saya berhenti bermain sejenak, saya tetap bisa dengan cepat memahami kembali cara memainkan game ini.	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5	
Q7	Saya jarang membuat kesalahan saat berinteraksi dengan sistem game ini (misalnya tombol, menu, aksi strategi).	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5	Error
Q8	Saya sering merasa bingung atau membuat kesalahan saat mencoba menerapkan solusi mitigasi di dalam game.	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5	
Q9	Saya merasa nyaman menggunakan sistem ini.	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5	Satisfaction
Q10	Sistem ini rumit digunakan.	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5	

Tabel 3.18 Skala Penilaian *Usability*

Nilai	Skala
1	Sangat Tidak Setuju
2	Tidak Setuju
3	Netral
4	Setuju
5	Sangat Setuju

Tabel 3.19 Nilai SUS

<i>Score SUS</i>	<i>Adjective Rating</i>	<i>Grade Scale</i>
90 – 100	<i>Excellent</i>	<i>A</i>
80 – 90	<i>Good</i>	<i>B</i>
70 – 80	<i>Okay</i>	<i>C</i>
60 – 70	<i>Poor</i>	<i>D</i>
< 60	<i>Awful</i>	<i>E</i>

Perhitungan skor SUS dengan pernyataan ganjil memiliki nilai positif, sedangkan pernyataan genap bersifat negatif. Kemudian skor dari setiap pernyataan akan dikonversi ke dalam skor SUS, dengan total skor SUS berada di rentang 0

hingga 100 di Tabel 3.18. Setelah pengumpulan data, skor rata-rata dari setiap peserta dihitung untuk mendapatkan skor akhir SUS. Pada 7 Interpretasi hasil akan menunjukkan tingkat kepuasan pengguna. Berikut langkah-langkah perhitungan *SUS* (Sidharta & Putri, 2023):

1. Jika pertanyaan positif, maka skor jawaban dikurangi 1, sehingga ditulis $x_i - 1$.
2. Jika pertanyaan negatif, maka 5 dikurangi skor jawaban, sehingga ditulis $5 - x_i$.
3. Menjumlahkan seluruh skor pertanyaan setiap responden.
4. Total skor dikalikan dengan 2,5 untuk mendapatkan skor *SUS*.
5. Skor *SUS* dari keseluruhan responden diperoleh dari rata-rata skor *SUS* untuk setiap responden menggunakan rumus $\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}$.

Setelah seluruh tahapan perhitungan dilakukan, diperoleh skor akhir SUS untuk masing-masing responden yang berada dalam rentang 0 hingga 100. Skor ini mencerminkan tingkat *usability* dari sistem yang diuji dalam hal ini, *game* mitigasi *Urban Heat Island* (UHI).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penerapan Metode WP dan Fuzzy

Game “*Ecocity Strategist*” menggunakan metode *Weighted Product* (WP) dan *Fuzzy*. Dalam prosesnya *Weighted Product* digunakan untuk menghasilkan ranking wilayah dengan Urban Heat Island (UHI). Selanjutnya metode *Fuzzy* untuk menghasilkan mitigasi apa yang cocok pada setiap wilayah. Perhitungan metode WP dan *Fuzzy* dihitung melalui program MATLAB kemudian di *convert* menjadi Python dan di proses pada C# yang ada pada Unity.

4.1.1 Weighted Product

Implementasi metode *Weighted Product* (WP) dalam penelitian ini difokuskan untuk memberikan penilaian terhadap wilayah-wilayah di Kota Malang berdasarkan enam kriteria yang telah ditentukan. Metode WP dipilih karena memiliki kemampuan dalam mengintegrasikan berbagai jenis kriteria. Nilai ini selanjutnya digunakan untuk menentukan peringkat atau prioritas wilayah dalam konteks strategi mitigasi *Urban Heat Island* (UHI). WP bekerja dengan prinsip perkalian dari setiap kriteria yang telah dibobotkan, sehingga lebih sensitif terhadap perubahan nilai ekstrem dibandingkan metode pengambilan keputusan lainnya. Proses implementasi dilakukan secara bertahap, dimulai dari perhitungan awal menggunakan perangkat lunak *Excel* untuk mempermudah proses normalisasi dan pembobotan awal. Selanjutnya, algoritma WP dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman *Python* untuk otomatisasi perhitungan dan validasi hasil. Setelah

memperoleh nilai preferensi akhir dari tiap wilayah, data tersebut diintegrasikan ke dalam platform Unity 3D dalam bentuk permainan simulasi interaktif. Pendekatan ini memungkinkan pengguna untuk secara visual dan dinamis memahami prioritas mitigasi di berbagai wilayah Kota Malang berdasarkan hasil analisis berbasis WP.

Tabel 4.1 Hasil Perankingan Metode WP menggunakan Python

Wilayah	Nilai Preferensi	Ranking
P11	0,122089779	6
P29	0,127191541	3
P8	0,121365154	7
P3	0,123038351	5
UP51	0,127252681	2
UP56	0,132772631	1
UP87	0,121121435	8
UP42	0,125168428	4

Untuk mempermudah pemahaman alur logika perhitungan metode *Weighted Product* (WP) yang telah diimplementasikan dalam bahasa pemrograman Python, berikut disajikan representasi proses tersebut dalam bentuk pseudocode. Pseudocode ini bertujuan untuk menggambarkan langkah-langkah utama secara sistematis dan terstruktur tanpa bergantung pada sintaks spesifik bahasa pemrograman tertentu.

1. Inisialisasi Data

Pseudocode 4.1 Inisialisasi Data Perumahan

```
# Initialize Plan data

Set weightsPlan = [0.10f, 0.06f, 0.03f, 0.16f, 0.41f, 0.24f]

Set isBenefitPlan = [false, false, false, false, true, true, true]

Set alternativeNamesPlan = ["P11", "P29", "P8", "P3"]

Set alternativeDataPlan = [
    [3.0, 2.67, 3.43, 26.303, 42.372, 14.215, 0.42, 0.26, 0.19],
    [2.46, 3.08, 3.73, 24.158, 36.776, 14.463, 0.55, 0.26, 0.19],
    [2.69, 3.14, 3.97, 34.77, 32.778, 12.045, 0.42, 0.26, 0.19],
    [2.95, 2.7, 3.5, 34.013, 47.169, 13.961, 0.55, 0.26, 0.19]
```

Pseudocode 4.2 inisialisasi Data Pemukiman

```
# Initialize Unplan data

Set weightsUP = [0.10f, 0.06f, 0.03f, 0.16f, 0.41f, 0.24f]

Set isBenefitPlan = [false, false, false, false, true, true, true]

Set alternativeNamesUP = ["UP51", "UP56", "UP87", "UP42"]

Set alternativeDataUP = [
    [3.44, 3.31, 3.81, 29.198, 41.354, 5.753, 0.55, 0.26, 0.19],
    [3.35, 2.85, 3.95, 20.546, 30.833, 4.292, 0.55, 0.26, 0.19],
    [3.48, 2.97, 3.74, 34.331, 45.183, 7.328, 0.42, 0.26, 0.19],
    [3.52, 3.16, 3.87, 26.572, 39.057, 4.648, 0.42, 0.26, 0.19]
]
```

Pada Pseudocode 4.1 bagian dari inisialisasi data untuk proses pengambilan mendefinisikan data awal untuk kategori *Plan* (Perumahan) yang akan digunakan pada perhitungan metode *Weighted Product*. Sama halnya dengan Pseudocode 4.2 kode tersebut yang berfungsi untuk menginisialisasi data yang akan digunakan didalam proses *weighted product* untuk data *Unplan* (Pemukiman).

2. Menghitung Vektor *S*

Pseudocode 4.3 Menghitung Vektor *S*

```
FUNCTION CalculateVectorS(data, weights, isBenefit, vectorS)
    SET alternativeCount = LENGTH(vectorS)

    FOR i FROM 0 TO alternativeCount - 1 DO
        SET s = 1

        FOR j FROM 0 TO LENGTH(weights) - 1 DO
            IF isBenefit[j] IS TRUE THEN
                SET power = weights[j]
            ELSE
                SET power = -weights[j]
            ENDIF

            SET s = s * (data[i, j] ^ power)    # Pangkatkan
            data[i,j] dengan power lalu kalikan ke s
        ENDFOR

        SET vectorS[i] = s    # Simpan hasil perhitungan ke vectorS
        indeks i
    ENDFOR
END FUNCTION
```

Pada Pseudocode 4.3 bertujuan untuk menghitung nilai vektor S bagi setiap alternatif berdasarkan data kriteria, bobot, dan jenis kriteria (*benefit* atau *cost*). Prosesnya dimulai dengan inisialisasi nilai awal S sebesar 1 untuk tiap alternatif, kemudian mengalikan nilai setiap kriteria yang dipangkatkan sesuai bobotnya. Jika kriteria merupakan *benefit*, bobot digunakan sebagai pangkat positif, sedangkan jika *cost*, bobot digunakan sebagai pangkat negatif sehingga nilai kriteria tersebut berperan sebagai faktor pengurang. Hasil perkalian ini kemudian disimpan dalam vektor S sebagai representasi skor total tiap alternatif.

3. Menghitung Vektor V

Pseudocode 4.4 Menghitung Vektor V

```

FUNCTION CalculateVectorV(vectorS, vectorV)
    SET totals = SUM semua elemen dalam vectorS

    FOR i FROM 0 TO LENGTH(vectorV) - 1 DO
        SET vectorV[i] = vectorS[i] / totals    # Normalisasi nilai
        vectorS[i] terhadap totals
    ENDFOR

```

Pseudocode 4.4 menghitung nilai vektor V dengan cara melakukan normalisasi terhadap vektor S . Pertama, fungsi menjumlahkan semua nilai dalam vektor S untuk mendapatkan total keseluruhan. Kemudian, setiap elemen pada vektor S dibagi dengan total tersebut sehingga menghasilkan vektor V yang berisi nilai proporsi atau bobot relatif dari setiap alternatif. Vektor V ini digunakan untuk menentukan peringkat alternatif. Hasil ini kemudian dapat digunakan untuk menentukan peringkat atau input ke sistem *fuzzy*.

Pseudocode 4.5 Perankingan

```

FUNCTION CalculateRanking(vectorV, ranking)
    # Buat daftar pasangan (nilai, indeks) dari vectorV
    SET pairedList = []
    FOR i FROM 0 TO LENGTH(vectorV) - 1 DO
        ADD (value: vectorV[i], index: i) TO pairedList
    ENDFOR

```

```

ENDFOR

# Urutkan pairedList berdasarkan nilai secara menurun
SORT pairedList BY value DESCENDING

# Ambil indeks dari hasil pengurutan
SET sortedIndices = LIST OF index DARI pairedList

# Beri peringkat berdasarkan posisi di sortedIndices
FOR i FROM 0 TO LENGTH(sortedIndices) - 1 DO
    SET ranking[sortedIndices[i]] = i + 1
ENDFOR
END FUNCTION

```

Pseudocode 4.5 menentukan peringkat dari setiap alternatif berdasarkan nilai pada vektor V . Pertama, fungsi menghubungkan setiap nilai dalam vektor V dengan indeksnya dan kemudian mengurutkan pasangan ini secara menurun berdasarkan nilainya. Setelah diurutkan, fungsi menetapkan peringkat mulai dari 1 untuk nilai tertinggi hingga peringkat terbesar untuk nilai terendah.

4.1.2 Fuzzy

Setelah dilakukan perhitungan berbasis logika deterministik dengan metode *Weighted Product*, pendekatan selanjutnya yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *fuzzy logic* untuk mengolah data kriteria secara langsung. Sistem *fuzzy* digunakan untuk menangani ketidakpastian dan kompleksitas pada data kriteria, seperti luas permukaan dan nilai reflektivitas, dengan cara mengubah nilai numerik menjadi derajat keanggotaan dalam himpunan linguistik seperti *rendah*, *sedang*, dan *tinggi*. Proses ini dilakukan menggunakan bahasa pemrograman *Python* untuk memodelkan fungsi keanggotaan, membentuk aturan (*rule base*), serta mengevaluasi *output* berbasis inferensi *fuzzy*. Pendekatan ini memungkinkan

sistem memberikan rekomendasi mitigasi yang lebih fleksibel dan adaptif terhadap variasi nilai input.

Setelah menjelaskan implementasi logika *fuzzy* menggunakan Python, langkah selanjutnya adalah menyederhanakan alur logika sistem tersebut dalam bentuk *pseudocode*. Penyajian dalam bentuk *pseudocode* bertujuan untuk memberikan gambaran struktur algoritma secara konseptual tanpa terikat sintaks bahasa pemrograman tertentu. Dengan *pseudocode*, pembaca dapat lebih mudah memahami proses inti dari sistem inferensi *fuzzy* yang telah dibangun.

1. Inisialisasi Variabel *Input* dan *Output Fuzzy*

Pseudocode 4.6 Variabel Fuzzy

```
Set Material = new FuzzyVariable("Material", 0.28, 0.32)
Material.AddMembershipFunction(new TrapMF("rendah", 0f, 0f, 0.2f,
0.4f))
Material.AddMembershipFunction(new TriMF("sedang", 0.2f, 0.5f,
0.8f))
Material.AddMembershipFunction(new TrapMF("tinggi", 0.6f, 0.8f,
1f, 1f))

Set Mitigasi = new FuzzyVariable("mitigasi", 0.05, 0.68)
Mitigasi.AddMembershipFunction(new TrapMF("jalan", 0.05, 0.05,
0.098, 0.146))
Mitigasi.AddMembershipFunction(new TriMF("atap", 0.13, 0.27,
0.4))
Mitigasi.AddMembershipFunction(new TrapMF("dinding", 0.38, 0.57,
0.68, 0.68))
```

Pada Pseudocode 4.6 inisialisasi variabel fuzzy dan fungsi keanggotaannya. Pada tahap ini, sistem mendefinisikan dua variabel utama, yaitu Material sebagai variabel *input* dengan rentang nilai 0.28 hingga 0.32, dan Mitigasi sebagai variabel *output* dengan rentang nilai 0.05 hingga 0.68. Variabel Material memiliki tiga fungsi keanggotaan, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Sementara itu, variabel Mitigasi juga memiliki tiga fungsi keanggotaan, yaitu jalan, atap, dan dinding, yang merepresentasikan jenis mitigasi yang akan direkomendasikan berdasarkan nilai

input yang masuk. Masing-masing didefinisikan menggunakan fungsi keanggotaan berbentuk trapesium dan segitiga.

2. Fuzzifikasi

Pada tahap fuzzifikasi, input nilai material akan diubah menjadi derajat keanggotaan (*degree of membership*). Pada Pseudocode 4.7 terdapat jenis keanggotaan yaitu *Trapezoidal Membership Function* dan di Pseudocode 4.8 adalah jenis keanggotaan *Triangular Membership Function*. Pada Pseudocode 4.9 menjelaskan proses untuk mendapatkan nilai derajat keanggotaan (*degree of membership*) dari suatu fungsi keanggotaan fuzzy.

Pseudocode 4.7 Membership Function Trapezoidal

```
Function GetMembership(x, a, b, c, d):
  If x < a or x > d:
    Return 0
  Else if x >= a and x < b:
    Return (x - a) / (b - a)
  Else if x >= b and x <= c:
    Return 1
  Else if x > c and x <= d:
    Return (d - x) / (d - c)
  Else:
    Return 0
```

Pseudocode 4.8 Membership Function Triangular

```
FUNCTION GetMembership(x):
  IF x ≤ a OR x ≥ c THEN
    RETURN 0
  ELSE IF x > a AND x < b THEN
    RETURN (x - a) / (b - a)
  ELSE IF x == b THEN
    RETURN 1
  ELSE IF x > b AND x < c THEN
    RETURN (c - x) / (c - b)
  ELSE
    RETURN 0
```

Pseudocode 4.9 Fuzzification

```
FUNCTION GetDegreeOfMembership(mfName, x):
  IF mfName ADA dalam MemberFunctions THEN
    RETURN MemberFunctions[mfName].GetMembership(x)
```

3. Menentukan Aturan (*Rule Base*)

Pseudocode 4.10 Rule Base

[illegible]

```

FuzzyRules( ["Sedang", "Tinggi", "Tinggi", "Sedang"], "Jalan" )
FuzzyRules( ["Sedang", "Tinggi", "Tinggi", "Tinggi"], "Jalan" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Rendah", "Rendah", "Rendah"], "Dinding" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Rendah", "Rendah", "Sedang"], "Dinding" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Rendah", "Rendah", "Tinggi"], "Dinding" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Rendah", "Sedang", "Rendah"], "Jalan" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Rendah", "Sedang", "Sedang"], "Jalan" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Rendah", "Sedang", "Tinggi"], "Jalan" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Rendah", "Tinggi", "Rendah"], "Jalan" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Rendah", "Tinggi", "Sedang"], "Jalan" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Rendah", "Tinggi", "Tinggi"], "Jalan" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Sedang", "Rendah", "Rendah"], "Dinding" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Sedang", "Rendah", "Sedang"], "Dinding" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Sedang", "Rendah", "Tinggi"], "Dinding" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Sedang", "Sedang", "Rendah"], "Jalan" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Sedang", "Sedang", "Sedang"], "Jalan" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Sedang", "Sedang", "Tinggi"], "Jalan" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Sedang", "Tinggi", "Rendah"], "Jalan" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Sedang", "Tinggi", "Sedang"], "Jalan" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Sedang", "Tinggi", "Tinggi"], "Jalan" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Tinggi", "Rendah", "Rendah"], "Atap" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Tinggi", "Rendah", "Sedang"], "Atap" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Tinggi", "Rendah", "Tinggi"], "Dinding" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Tinggi", "Sedang", "Rendah"], "Jalan" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Tinggi", "Sedang", "Sedang"], "Jalan" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Tinggi", "Sedang", "Tinggi"], "Jalan" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Tinggi", "Tinggi", "Rendah"], "Jalan" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Tinggi", "Tinggi", "Sedang"], "Jalan" )
FuzzyRules( ["Tinggi", "Tinggi", "Tinggi", "Tinggi"], "Jalan" )

```

Menyusun daftar aturan *fuzzy* (*fuzzy rules*) yang menghubungkan variabel *input* Material dengan variabel *output* Mitigasi pada Pseudocode 4.10. Contohnya, jika Material bernilai “rendah,” maka aturan menyarankan Mitigasi berupa “jalan”; jika Material “tinggi,” maka Mitigasi bisa berupa “atap” atau “dinding.” Kumpulan aturan ini menjadi dasar dalam proses inferensi *fuzzy* untuk menentukan rekomendasi mitigasi yang sesuai berdasarkan kondisi material.

4. Agregasi dan Defuzzifikasi

Pada proses inferensi, setiap aturan *fuzzy* akan menghasilkan suatu fungsi keanggotaan (*membership function*) untuk outputnya. Fungsi keanggotaan ini berupa derajat keanggotaan (*membership degree*) yang dihasilkan berdasarkan dari

setiap aturan *fuzzy*. Namun, hasil inferensi ini masih berupa sekumpulan fungsi keanggotaan yang terpisah. Oleh karena itu, langkah selanjutnya adalah melakukan proses agregasi untuk menggabungkan seluruh fungsi keanggotaan *output* menjadi satu fungsi keanggotaan gabungan.

Pseudocode 4.11 Agregasi

```
Function aggregatedOutputFunction(x)
  Set maxValue = 0
  For each func in implicatedOutputFunctions
    Set value = func(x)
    If value > maxValue Then
      maxValue = value
    End If
  End For
  Return maxValue
```

Proses agregasi dilakukan melalui metode MAX (*maximum aggregation*), yaitu dengan mengambil nilai maksimum dari setiap fungsi keanggotaan yang dihasilkan oleh aturan *fuzzy* yang aktif. Implementasi proses agregasi dapat dilihat Pseudocode 4.11.

Setelah proses agregasi selesai, langkah berikutnya adalah melakukan proses defuzzifikasi. Defuzzifikasi merupakan proses untuk mengubah hasil keluaran *fuzzy* menjadi nilai *crisp* yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan. Dalam kode ini, metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode *Centroid* (*Center of Gravity*). Implementasi *Centroid* dapat dilihat pada Pseudocode 4.12.

Pseudocode 4.12 Centroid

```
Function CalculateCentroid(aggregatedMf, minRange, maxRange):
  step = (maxRange - minRange) / DefuzzificationSamples
  numerator = 0
  denominator = 0

  For i from 0 to DefuzzificationSamples do:
    x = minRange + i * step
    membershipValue = aggregatedMf(x)
```

```

        numerator = numerator + (x * membershipValue)
        denominator = denominator + membershipValue

    If denominator == 0 then:
        return (minRange + maxRange) / 2
    Else:
        return numerator / denominator

```

Proses defuzzifikasi dilakukan melalui perhitungan *Centroid*, yaitu dengan Caranya dengan membagi area di bawah kurva fungsi keanggotaan menjadi sejumlah sampel (*DefuzzificationSamples*), lalu menghitung rata-rata tertimbang posisi (x) berdasarkan nilai keanggotaannya. Jika total nilai keanggotaan (*denominator*) nol, fungsi mengembalikan nilai tengah rentang sebagai hasilnya. Dengan cara ini, fungsi memberikan nilai *output* tunggal yang mewakili hasil inferensi *fuzzy* secara numerik.

4.2 Pembahasan *Game*

Untuk menguji sistem dari game tersebut berjalan sesuai atau tidak, *user* harus menjalankan game sesuai arahan. Game “*Ecocity Strategist*” ini diuji untuk memastikan bahwa algoritma metode *WP Fuzzy* sudah berjalan dengan baik dan sesuai antara rancangan perhitungan awal dan C#.

User akan memasuki *scene* Main Menu untuk memulai game tersebut seperti pada Gambar 4.1. Ketika *user* sudah ada di halaman tersebut maka harus klik button “*play*”. Kemudian *user* akan masuk ke *scene* Pilih Kawasan pada Gambar 4.2. Di Scene ini hasil perhitungan *Weighted Product* dihasilkan perankingan dari 8 wilayah yang terdiri Perumahan (P) dan Pemukiman (UP). Pada Tabel 4.2 adalah hasil yang sudah memunculkan bahwa Metode WP sudah sesuai dan terimplementasikan didalam *game*.



Gambar 4.1 Main Menu



Gambar 4.2 Pilih Kawasan

Tabel 4.2 Hasil Perankingan WP pada Game

Wilayah	Nilai Preferensi (Vektor V)	Ranking
UP56	0,132772631	1
UP51	0,127252681	2
P29	0,127191541	3
UP42	0,125168428	4
P3	0,123038351	5
P11	0,122089779	6
P8	0,121365154	7
UP87	0,121121435	8

Kemudian setelah *Weighted Product* selesai, maka data dari nilai preferensi setiap wilayah tersebut disimpan didalam *game*. Dan langkah selanjutnya ke proses

fuzzy. User memilih setiap wilayah yang akan dilakukan mitigasi. Jika user memilih wilayah UP56 maka mitigasi yang diperlukan adalah Dinding dan harus memilih perbaikan jenis dinding seperti apa yang cepat menurunkan suhu seperti pada Gambar 4.3. Solusi mitigasi tersebut diperoleh dari metode *fuzzy* dan sudah sesuai dengan rancangan perhitungan di MATLAB. Pada Tabel 4.3 merupakan hasil mitigasi dari perhitungan *fuzzy* pada game dari semua wilayah.



Gambar 4.3 Mitigasi UP 29

Tabel 4.3 Hasil Mitigasi pada Game

Wilayah	Nilai	Hasil Mitigasi
UP56	0.593	Dinding
UP51	0.574	Dinding
P29	0.090	Jalan
UP42	0.584	Dinding
P3	0.086	Jalan
P11	0.090	Jalan
P8	0.087	Jalan
UP87	0.227	Atap

Berdasarkan hasil uji coba yang dilakukan pada game *Ecocity Strategist*, dapat disimpulkan bahwa implementasi metode *Weighted Product* (WP) dan *Fuzzy Mamdani* telah berjalan dengan baik dan sesuai dengan rancangan awal. Hal ini ditunjukkan melalui tahapan interaksi pengguna yang dimulai dari pemilihan

wilayah pada scene game, hingga keluarnya hasil perankingan wilayah berdasarkan nilai preferensi WP. Perankingan wilayah yang muncul sesuai dengan hasil perhitungan manual menjadi indikasi bahwa logika WP telah terintegrasi dengan benar ke dalam sistem game menggunakan bahasa pemrograman C#.

4.3 Pengujian System Usability Scale

Pengujian usability dilakukan untuk mengevaluasi kualitas antarmuka dan pengalaman pengguna dari game edukatif *EcoCity Strategist*, yang dirancang sebagai media mitigasi fenomena *Urban Heat Island* (UHI) berbasis *WP-Fuzzy*. Fokus pengujian ini adalah untuk mengukur seberapa mudah, efisien, dan menyenangkan sistem digunakan oleh pengguna. Pada tahap pengujian *Usability* tersebut diajukan kepada 100 *user* dengan rentang usia $17 \geq x \leq 35$ tahun. Setelah data dari responden berhasil dikumpulkan, proses penghitungan dilakukan.

Pada merupakan hasil dari responden sebelum dilakukan ke tahap perhitungan *Usability*. Kemudian dilanjutkan perhitungan langkah pertama dan kedua ketika pertanyaan positif yaitu pertanyaan ganjil dan pertanyaan negatif yaitu pertanyaan genap. Maka akan menghasilkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.4 Hasil Responden

No	Responden	Skor Asli									
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
1	R1	5	1	5	1	5	5	5	1	5	1
2	R2	5	4	5	1	5	4	5	3	5	1
3	R3	5	2	5	1	5	4	5	1	5	2
4	R4	5	1	5	1	5	5	5	1	5	1
5	R5	5	2	5	3	5	5	5	1	4	1
6	R6	5	2	5	1	5	5	4	4	5	1
7	R7	5	2	5	1	5	5	5	1	5	1
8	R8	4	5	4	4	5	5	4	4	5	5
9	R9	5	1	5	1	5	5	5	1	5	1
10	R10	5	1	5	2	5	5	5	1	5	1
11	R11	5	4	5	1	5	5	5	2	5	1
12	R12	5	5	4	2	4	5	5	2	5	1

No	Responden	Skor Asli									
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
13	R13	5	2	5	1	5	4	5	2	5	1
14	R14	5	2	5	1	5	5	5	2	5	1
15	R15	5	3	5	2	5	5	5	2	5	1
16	R16	5	1	5	1	4	4	4	1	4	1
17	R17	5	3	5	1	5	5	5	1	5	1
18	R18	5	2	5	1	5	5	5	2	5	1
19	R19	5	2	5	2	5	5	5	1	5	1
20	R20	5	1	5	1	5	5	4	1	5	1
21	R21	5	2	5	1	4	5	5	1	5	1
22	R22	5	1	5	1	5	2	5	2	5	2
23	R23	5	1	4	3	4	2	3	3	5	1
24	R24	5	1	5	1	1	5	5	2	5	1
25	R25	5	5	5	2	5	5	5	1	5	1
26	R26	5	3	4	1	5	4	5	4	5	1
27	R27	4	2	4	1	5	5	4	2	5	1
28	R28	5	3	4	2	4	2	4	2	4	1
29	R29	5	2	5	2	4	4	4	2	4	1
30	R30	5	4	5	2	5	5	4	2	5	1

Tabel 4.5 Hasi SUS sebelum dikali 2.5

No	Responden	Skor Asli										Jumlah Skor
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	
1	R1	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	36
2	R2	4	1	4	4	4	1	4	2	4	4	32
3	R3	4	3	4	4	4	1	4	4	4	3	35
4	R4	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	36
5	R5	4	3	4	2	4	0	4	4	3	4	32
6	R6	4	3	4	4	4	0	3	1	4	4	31
7	R7	4	3	4	4	4	0	4	4	4	4	35
8	R8	3	0	3	1	4	0	3	1	4	0	19
9	R9	4	4	4	4	4	0	4	4	4	4	36
10	R10	4	4	4	3	4	0	4	4	4	4	35
11	R11	4	1	4	4	4	0	4	3	4	4	32
12	R12	4	0	3	3	3	0	4	3	4	4	28
13	R13	4	3	4	4	4	1	4	3	4	4	35
14	R14	4	3	4	4	4	0	4	3	4	4	34
15	R15	4	2	4	3	4	0	4	3	4	4	32
16	R16	4	4	4	4	3	1	3	4	3	4	34
17	R17	4	2	4	4	4	0	4	4	4	4	34
18	R18	4	3	4	4	4	0	4	3	4	4	34
19	R19	4	3	4	3	4	0	4	4	4	4	34
20	R20	4	4	4	4	4	0	3	4	4	4	35
21	R21	4	3	4	4	3	0	4	4	4	4	34
22	R22	4	4	4	4	4	3	4	3	4	3	37
23	R23	4	4	3	2	3	3	2	2	4	4	31
24	R24	4	4	4	4	0	0	4	3	4	4	31
25	R25	4	0	4	3	4	0	4	4	4	4	31
26	R26	4	2	3	4	4	1	4	1	4	4	31
27	R27	3	3	3	4	4	0	3	3	4	4	31

No	Responden	Skor Asli										Jumlah Skor
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	
28	R28	4	2	3	3	3	3	3	3	3	4	31
29	R29	4	3	4	3	3	1	3	3	3	4	31
30	R30	4	1	4	3	4	0	3	3	4	4	30

Setelah mendapatkan jumlah skor setiap responden. Langkah selanjutnya yaitu dengan mengalikan setiap jumlah skor responden dengan nilai 2.5. Hasil dari perhitungan tersebut terdapat pada Tabel 4.6. Setelah mendapatkan hasil tersebut, selanjutnya melakukan dari rata-rata skor *SUS*. Hasil dari rata-rata skor *SUS* terdapat pada Tabel 4.7. Setelah mendapatkan skor rata rata yaitu 81,42 maka berdasarkan pada Tabel 3.19. skor dengan rata-rata tersebut masuk kedalam *adjective rating Good* dengan *grad scale B*. Dengan interpretasi ini, peneliti dapat menilai secara objektif apakah antarmuka dan fungsionalitas *game EcoCity Strategist* telah memenuhi standar kenyamanan pengguna.

Tabel 4.6 Hasi *SUS* setelah dikali 2.5

No	Responden (R)	Jumlah Skor	Hasil dikali 2. 5
1	R1	36	90
2	R2	32	80
3	R3	35	87,5
4	R4	36	90
5	R5	32	80
6	R6	31	77,5
7	R7	35	87,5
8	R8	19	47,5
9	R9	36	90
10	R10	35	87,5
11	R11	32	80
12	R12	28	70
13	R13	35	87,5
14	R14	34	85
15	R15	32	80
16	R16	34	85
17	R17	34	85
18	R18	34	85
19	R19	34	85
20	R20	35	87,5
21	R21	34	85
22	R22	37	92,5
23	R23	31	77,5

No	Responden (R)	Jumlah Skor	Hasil dikali 2. 5
24	R24	31	77,5
25	R25	31	77,5
26	R26	31	77,5
27	R27	31	77,5
28	R28	31	77,5
29	R29	31	77,5
30	R30	30	75

Tabel 4.7 Rata rata skor SUS

Responden (R)	Hasil Dikali 2.5
R1	90
R2	80
R3	87,5
R4	90
R5	80
R6	77,5
R7	87,5
R8	47,5
R9	90
R10	87,5
R11	80
R12	70
R13	87,5
R14	85
R15	80
R16	85
R17	85
R18	85
R19	85
R20	87,5
R21	85
R22	92,5
R23	77,5
R24	77,5
R25	77,5
R26	77,5
R27	77,5
R28	77,5
R29	77,5
R30	75
Rata - Rata	81,42

4.4 Integrasi Islam dan Sains

Islam tidak memisahkan antara agama dan ilmu pengetahuan. Setiap bentuk pencapaian dalam ilmu sains, teknologi, dan lingkungan haruslah mengakar pada

nilai-nilai spiritual dan sosial dalam Islam. Dalam konteks strategi mitigasi Urban Heat Island (UHI) melalui pendekatan simulasi game dan metode WP *Fuzzy*, integrasi Islam dan sains dapat dilihat melalui dua aspek penting yaitu hubungan manusia dengan Allah SWT (*muamalah ma'a Allah*), hubungan manusia dengan sesama manusia (*muamalah ma'a an-nas*) dan interaksi manusia dengan lingkungan sekitarnya (*muamalah ma'a al-'ālam*)

4.4.1 Muamalah Ma'a Allah SWT

Muamalah ma'a Allah SWT merupakan bentuk hubungan spiritual yang merefleksikan kepatuhan, ketundukan, dan kesadaran manusia sebagai makhluk terhadap kehendak dan aturan Sang Pencipta. Dalam Islam, pelestarian lingkungan bukan hanya persoalan etika sosial atau tanggung jawab ekologis, tetapi juga merupakan bagian dari penghambaan (ibadah) kepada Allah SWT. Ketaatan kepada Allah tidak hanya diwujudkan melalui ritual formal seperti shalat atau puasa, melainkan juga melalui tindakan menjaga ciptaan-Nya dan menghindari kerusakan di muka bumi.

Dalam konteks ini, pelestarian lingkungan menjadi bagian keimanan. Ketika seseorang menjaga bumi dan mengupayakan perbaikannya, sesungguhnya ia sedang menjalankan salah satu bentuk ketaatan kepada Allah SWT. Sebaliknya, jika seseorang merusak lingkungan, baik melalui tindakan langsung atau pembiaran terhadap kerusakan, maka hal tersebut merupakan bentuk ketidaktaatan dan pengkhianatan terhadap amanah yang telah diberikan oleh Allah kepada manusia sebagai khalifah di bumi (Mulyanto dkk., 2024).

Al-Qur'an secara tegas mengingatkan manusia untuk tidak membuat kerusakan di muka bumi, sebagaimana firman Allah SWT:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا ۚ إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ (٥٦)

“Dan janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah (diciptakan) dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat kepada orang yang berbuat kebaikan.” (QS. Al'Araf 56)

Berdasarkan Tafsir Ibn Katsir (Alu Syaikh, 2008) ayat ini menegaskan bahwa bumi telah diciptakan dalam keadaan baik dan seimbang. Allah menyeru manusia untuk menjaga kondisi tersebut dan tidak membuat kerusakan setelah-Nya memperbaiki ciptaan-Nya. Menjaga lingkungan, dengan demikian, bukan hanya pilihan moral, melainkan merupakan tuntutan syariat dan wujud konkret dari kepatuhan kepada Allah.

Dalam kaitannya dengan penelitian ini, strategi mitigasi *Urban Heat Island* (UHI) melalui pengembangan simulasi game tidak hanya menjadi upaya inovatif dalam menyampaikan edukasi lingkungan, tetapi juga bisa dipahami sebagai sarana menunaikan amanah Ilahi. Ketika seseorang, baik individu maupun komunitas, menggunakan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk memperbaiki kualitas lingkungan seperti mengurangi dampak suhu ekstrem di wilayah perkotaan maka ia sedang menjalankan ketaatan kepada Allah dalam bentuk tindakan (amal) yang nyata. Sebab, ilmu yang digunakan untuk memperbaiki kerusakan merupakan bagian dari syukur atas nikmat akal dan ilmu yang Allah karuniakan kepada manusia.

Lebih dari itu, konsekuensi dari ketaatan dalam pelestarian lingkungan adalah mendekatkan diri kepada rahmat Allah, sebagaimana disebut dalam ayat

tersebut bahwa “rahmat Allah sangat dekat kepada orang-orang yang berbuat kebaikan.” Maka, tindakan memperjuangkan lingkungan yang sehat dan berkelanjutan sejatinya merupakan bagian dari jalan menuju keberkahan hidup di dunia dan keselamatan di akhirat.

Dengan demikian, upaya mitigasi UHI dalam penelitian ini bukan hanya aktivitas ilmiah, tetapi juga spiritual. Ia menjadi bentuk ibadah sosial yang mencerminkan muamalah ma’a Allah, yaitu menjalankan perintah-Nya, menjaga ciptaan-Nya, dan menjauhi segala bentuk kerusakan sebagai bentuk aktualisasi iman dalam tindakan.

4.4.2 Mualamalah Ma’a An-Nas

Muamalah ma’a an-nas menekankan pentingnya hubungan horizontal antarmanusia, yang mencakup aspek sosial, etika, dan tanggung jawab kolektif. *Urban Heat Island* tidak hanya berdampak pada lingkungan, tetapi juga pada kualitas hidup masyarakat. Simulasi game yang dikembangkan dalam penelitian ini menjadi bentuk kontribusi sosial yang bertujuan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya pengelolaan kota yang berkelanjutan. Selain itu, metode *WP Fuzzy* yang digunakan dalam sistem pengambilan keputusan mencerminkan prinsip keadilan (*’adl*) dan musyawarah dalam Islam, di mana berbagai alternatif dipertimbangkan secara bijak dan berimbang untuk mencapai solusi yang paling maslahat bagi masyarakat.

Islam mengajarkan bahwa setiap tindakan manusia seharusnya membawa manfaat bagi orang lain. Rasulullah SAW bersabda:

خَيْرُ النَّاسِ أَنْفَعُهُمْ لِلنَّاسِ

“Sebaik baiknya manusia adalah yang paling bermanfaat bagi manusia (lainnya)”
(Hadis Riwayat ath-Thabrani)

Implementasi integrasi ilmu dalam hadis tercermin dari sabda Nabi Muhammad SAW yang menganjurkan agar setiap Muslim menjadi pelopor kebaikan di mana pun dan kapan pun ia berada. Ilmu yang tidak diamankan diibaratkan seperti pohon yang tidak menghasilkan buah demikian pula, pengetahuan yang tinggi tanpa adanya kepedulian terhadap kondisi sosial dan lingkungan sekitar, pada akhirnya justru akan menjadi *hujah* (alasan yang memberatkan) atas dirinya di hadapan Allah (Wahid, 2017). Dalam perspektif Islam, hubungan antarmanusia (*muamalah ma'annas*) tidak hanya mencakup interaksi sosial secara umum, tetapi juga mencakup tanggung jawab terhadap kondisi sosial dan ekologis yang memengaruhi kehidupan masyarakat secara luas. Oleh karena itu, setiap bentuk ilmu dan tindakan hendaknya diarahkan untuk memberikan manfaat nyata bagi sesama.

Integrasi nilai-nilai keislaman dalam pengelolaan lingkungan juga selaras dengan konsep *maqāṣid al-syarī'ah*, yaitu menjaga kemaslahatan dan mencegah kerusakan. Mitigasi UHI dapat diwujudkan melalui tindakan-tindakan kolaboratif, seperti perencanaan kota berbasis lingkungan, peningkatan ruang hijau, serta edukasi masyarakat untuk menerapkan gaya hidup ramah lingkungan. Semua bentuk partisipasi aktif dalam mitigasi ini merupakan wujud pengamalan sabda Nabi SAW, karena secara langsung maupun tidak langsung, tindakan tersebut memberi manfaat luas bagi kehidupan manusia. Dengan demikian, hadis ini dapat

dijadikan sebagai landasan teologis dan etis dalam membangun strategi mitigasi UHI yang tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga mencerminkan dimensi spiritual dan sosial dalam Islam.

4.4.3 Muamalah Ma'a al Alam

Islam tidak hanya mengatur hubungan manusia dengan sesama (*muamalah ma'annas*), tetapi juga mengatur interaksi manusia dengan lingkungan sekitarnya, yang dalam istilah fikih sosial dikenal sebagai *muamalah ma'a al'alam*. Konsep ini menunjukkan bahwa keberadaan alam bukan sekadar objek eksploitasi, melainkan bagian dari amanah Tuhan yang harus dijaga dan dilestarikan. Tanggung jawab ekologis ini tercermin dalam berbagai ajaran Al-Qur'an dan hadis Nabi Muhammad SAW yang mendorong umat Islam untuk menjaga keseimbangan alam, melestarikan tumbuhan, serta mencegah kerusakan lingkungan. Salah satu hadis yang menegaskan pentingnya menjaga lingkungan bahkan dalam kondisi paling genting adalah sebagai berikut:

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

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

Hadis ini sebagai bentuk dorongan agar umat Islam tidak menunda amal baik, terlebih yang berkaitan dengan kemaslahatan umum dan kelestarian lingkungan. Imam Ibn Hajar al-'Asqalani dalam *Fath al-Bari* (Abdul Aziz

Abdullah, 2003) menjelaskan bahwa meskipun hasilnya tidak bisa dirasakan secara langsung, setiap usaha memperbaiki lingkungan akan dicatat sebagai amal saleh yang bernilai ibadah.

Lebih lanjut, riwayat hadis tentang pentingnya menanam pohon ini juga disebutkan dalam kitab *al-Silsilah al-Shahihah* (Nur, 1996) karya Syaikh Nashiruddin al-Albani. yang mendorong upaya penghijauan, memperkuat pandangan bahwa ajaran Islam menempatkan pelestarian lingkungan sebagai bagian dari ibadah yang berpahala. Bahkan, amal seperti menanam pohon atau merawat bumi akan terus memberikan pahala secara berkelanjutan (*tsawāb jāriy*) meskipun pelakunya telah wafat, selama manfaatnya masih dirasakan oleh makhluk lain.

Ajaran ini dapat diterapkan secara nyata dalam konteks mitigasi fenomena *Urban Heat Island* (UHI). UHI merupakan peningkatan suhu yang signifikan di wilayah perkotaan akibat pengurangan vegetasi dan dominasi material yang menyerap panas seperti aspal dan beton.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem pengambilan keputusan berbasis simulasi game untuk strategi mitigasi *Urban Heat Island* (UHI) di Kota Malang dengan mengintegrasikan metode *Weighted Product* (WP) dan logika *Fuzzy Mamdani* dalam berbasis simulasi game. Dengan data yang digunakan yaitu wilayah dikota malang yang dibutuhkan mitigasi *Urban Heat Island* terdiri dari 4 wilayah perumahan (*Plan*) dan 4 wilayah pemukiman (*Unplan*). Dari setiap wilayah dengan 9 kriteria yang digunakan terdiri dari suhu udara, kualitas udara, kenyamanan termal, luas permukaan dinding, atap, jalan dan reflektisitas permukaan dinding, atap, jalan dengan masing masing bobot yang dihasilkan.

Melalui implementasi metode *Weighted Product* digunakan untuk menghitung nilai preferensi setiap wilayah berdasarkan sembilan kriteria. Hasil ranking wilayah yang diperoleh menjadi input untuk sistem *fuzzy* dalam menentukan rekomendasi mitigasi paling tepat, yaitu antara atap, dinding, atau jalan dengan albedo tinggi. Hasil pengujian sistem menunjukkan bahwa game *EcoCity Strategist* mampu mensimulasikan pengambilan keputusan yang logis dan edukatif, terbukti dari validasi ahli yang menghasilkan nilai 88% dan 87,5% dengan kategori valid, serta skor usability dari 30 responden dengan rata-rata 81,42 yang tergolong *Good*. Sistem ini tidak hanya memberikan solusi teknis, tetapi juga mendorong

peningkatan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya strategi mitigasi UHI melalui pendekatan game yang interaktif.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian sistem yang telah dilakukan, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk pengembangan lebih lanjut agar sistem ini dapat lebih optimal dan bermanfaat bagi pengguna yang lebih luas. Adapun saran-saran yang dapat diajukan sebagai berikut:

1. Perluasan Wilayah dan Adaptabilitas *Game*

Game ini sebaiknya dikembangkan agar dapat digunakan pada kota-kota lain yang memiliki karakteristik UHI yang berbeda. Untuk itu, mekanisme input data perlu disesuaikan agar bersifat dinamis dan mudah dikonfigurasi ulang oleh pengguna atau pengembang.

2. Perbandingan dengan Metode Multi-Kriteria Lain

Disarankan untuk melakukan komparasi kinerja metode WP dengan metode multi-kriteria lain seperti TOPSIS, SAW, atau PROMETHEE. Hal ini bertujuan untuk menilai efisiensi, kestabilan hasil, serta sensitivitas terhadap perubahan data dan bobot, sehingga dapat diperoleh pendekatan pengambilan keputusan yang paling ideal untuk kasus mitigasi UHI.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Aziz Abdullah, S. (2003). *Fathul Baari Penjelasan Kitab Shahih Al Bukhari* (Terjemahan). Pustaka Azzam.
- Ahmad, M., Kusumaningtyas, S. D. A., Nurhayati, H., & Khoir, A. N. (2019). Analisis dampak diterapkannya kebijakan working from home saat pandemi COVID-19 terhadap kondisi kualitas udara di Jakarta. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Vol*, 6(3).
- Ahmad, S. N., Hanafie, I. M., Sriwati, M., Kamba, C., Lopian, F. E. P., Risfawany, L. D., Syam, A., Mustika, W., Tumpu, M., & Suryamiharja, D. (2021). *Pemanfaatan Material Alternatif (Sebagai Bahan Penyusun Konstruksi)*. TOHAR MEDIA.
- Almeida, C. R., Teodoro, A. C., & Gonçalves, A. (2021). Study of the Urban Heat Island (UHI) Using Remote Sensing Data/Techniques: A Systematic Review. *Environments*, 8(10).
<https://doi.org/10.3390/environments8100105>
- Alu Syaikh, A. bin M. bin A. bin I. (2008). *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 8*.
- Cao, S., Cai, Y., Du, M., Weng, Q., & Lu, L. (2022). Seasonal and diurnal surface urban heat islands in China: An investigation of driving factors with three-dimensional urban morphological parameters. *GIScience & Remote Sensing*, 59(1), 1121–1142.
<https://doi.org/10.1080/15481603.2022.2100100>
- Christioko, B. V., Indriyawati, H., & Hidayati, N. (2017). Fuzzy multi-atribute decision making (fuzzy madm) dengan metode saw untuk pemilihan mahasiswa berprestasi. *Jurnal Transformatika*, 14(2), 82–85.
- Crisman, J. J., Keith, L., Sami, I., & Garfin, G. (2023). Designing Chill City: An interactive game supporting public learning about urban planning for extreme heat. *The Journal of Environmental Education*, 54(3), 225–239.
- de Amorim, L. B., Cavalcanti, G. D., & Cruz, R. M. (2023). The choice of scaling technique matters for classification performance. *Applied Soft Computing*, 133, 109924.
- Deilami, K., Kamruzzaman, M., & Liu, Y. (2018). Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 67, 30–42.

- Faizi, S., Saġabun, W., Rashid, T., Zafar, S., & Wątróbski, J. (2020). Intuitionistic Fuzzy Sets in Multi-Criteria Group Decision Making Problems Using the Characteristic Objects Method. *Symmetry*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/sym12091382>
- Falasca, S., Ciancio, V., Salata, F., Golasi, I., Rosso, F., & Curci, G. (2019). High albedo materials to counteract heat waves in cities: An assessment of meteorology, buildings energy needs and pedestrian thermal comfort. *Building and environment*, 163, 106242.
- Fassa, F. (2022). *Perencanaan Konstruksi Berkelanjutan*. Podomoro University Press.
- Fioravanti, F. (2024). *Fuzzy Classification Aggregation*.
- Giang, N. T., & Thinh, H. X. (2025). Comparing Subjective Weighting Methods in Multi-Criteria Decision-Making: An Application to Electric Bicycle Ranking. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 15(2), 21963–21969.
- Harijoko, A., Puspitasari, D., Prabaningrum, I., Prastika, K. P., & Wijayanti, N. F. (2021). *Manajemen penanggulangan bencana dan pengurangan risiko bencana di Indonesia*. UGM PRESS.
- Harir, A., Melliani, S., & Chadli, L. S. (2020). Existence, uniqueness and approximate solutions of fuzzy fractional differential equations. *Fuzzy Systems*, 3.
- Hermawan, E. (2015). Fenomena urban heat island (UHI) pada beberapa kota besar di Indonesia sebagai salah satu dampak perubahan lingkungan global. *Jurnal Citra Widya Edukasi*, 7(1), 33–45.
- Irfeey, A. M., Chau, H.-W., Sumaiya, M. M., Wai, C. Y., Muttill, N., & Jamei, E. (2023). Sustainable Mitigation Strategies for Urban Heat Island Effects in Urban Areas. *Sustainability*, 15(14). <https://doi.org/10.3390/su151410767>
- Khairina, D. M., Asrian, M. R., & Hatta, H. R. (2016). *Decision support system for new employee recruitment using weighted product method*. 297–301.
- Klein, B. (2016). Managing the scalability of visual exploration using game engines to analyse UHI scenarios. *Procedia Engineering*, 169, 272–279.
- Krishnan, A. R., Hamid, M. R., Tanakinjal, G. H., Asli, M. F., Boniface, B., & Ghazali, M. F. (2023). An investigation to offer conclusive recommendations on suitable benefit/cost criteria-based normalization methods for TOPSIS. *MethodsX*, 10, 102227.

- Kusumaningrum, K., Saraswati, R., & Wibowo, A. (2022). *Green open space development based on urban heat island phenomenon in Malang City*. 950(1), 012066.
- Lasaiba, M. A. (2024). Dampak Mitigasi Bencana Terhadap Pertumbuhan Pariwisata Di Daerah Kepulauan. *Lani: Jurnal Kajian Ilmu Sejarah dan Budaya*, 5(1), 1–10.
- Li, X., Zhou, Y., Yu, S., Jia, G., Li, H., & Li, W. (2019). Urban heat island impacts on building energy consumption: A review of approaches and findings. *Energy*, 174, 407–419.
- Liu, Y., Chu, C., Zhang, R., Chen, S., Xu, C., Zhao, D., Meng, C., Ju, M., & Cao, Z. (2024). Impacts of high-albedo urban surfaces on outdoor thermal environment across morphological contexts: A case of Tianjin, China. *Sustainable Cities and Society*, 100, 105038. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105038>
- Malihah, L. (2022). Tantangan dalam upaya mengatasi dampak perubahan iklim dan mendukung pembangunan ekonomi berkelanjutan: Sebuah tinjauan. *Jurnal Kebijakan Pembangunan*, 17(2), 219–232.
- Marcondes, G. A. B., & Marcondes, C. B. (2024). *Innovation Project Selection Considering Stochastic Weighted Product Model*. 207–212.
- Miftachul Arif, Y., Rohma, S. A., Nurhayati, H., Kusumadewi, T., Nugroho, F., & Karami, A. F. (2024). Improving Urban Heat Island Predictions Based on Support Vector Regression and Multi-Sensor Remote Sensing: A Case Study in Malang City. *Register: Jurnal Ilmiah Teknologi Sistem Informasi*, 10(2). <https://doi.org/10.26594/register.v10i2.5022>
- Morini, E., Touchaei, A. G., Castellani, B., Rossi, F., & Cotana, F. (2016). The Impact of Albedo Increase to Mitigate the Urban Heat Island in Terni (Italy) Using the WRF Model. *Sustainability*, 8(10). <https://doi.org/10.3390/su8100999>
- Mulyanto, M. J. S. L. R., Irfan, A., & Rahayu, S. L. (2024). *Agama, Kearifan Lokal Dan Konservasi Lingkungan*. Nas Media Pustaka.
- Muslim, B., Puspita, D., & Syahri, R. (2023). Implementasi Metode *Weighted Product* (WP) Dalam Menentukan Sistem Pendukung Keputusan Penerima Beasiswa Kurang Mampu. *Riduan Syahri Jurnal Ilmiah Betrik*, 14(02).
- Nur, Q. (1996). *Silsilah Al-Ahadits Ash-Shahihah Wa Syaiun Min Fiqhiha Wa Fawaaidiha* (2 ed.). CV Pustaka Mantiq.
- Nuraini, R., Alamsyah, D., Septarini, R. S., & Sinlae, A. A. J. (2022). Completion of multi-criteria decision making using the *weighted product* method on the

server maintenance vendor selection system. *Jurnal Teknik Informatika CIT Medicom*, 14(1), 27–35.

Nurlaelih, E. E., & Damaiyanti, D. R. R. (2019). *Urban farming untuk ketahanan pangan*. Universitas Brawijaya Press.

Özmen-Akyol, S., Baba, A., & Salman, S. (2021). Selection of Material for Marine Environments Using Fuzzy TOPSIS Approach. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 14(1), 11–22. <https://doi.org/10.17671/gazibtd.690740>

Peng, J., Liu, Q., Xu, Z., Lyu, D., Du, Y., Qiao, R., & Wu, J. (2020). How to effectively mitigate urban heat island effect? A perspective of waterbody patch size threshold. *Landscape and Urban Planning*, 202, 103873. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103873>

Pop, M.-D., Pescaru, D., & Micea, M. V. (2023). Mamdani vs. Takagi–Sugeno Fuzzy Inference Systems in the Calibration of Continuous-Time Car-Following Models. *Sensors*, 23(21), 8791.

Ridwan, M. K. (2024). *Fisika Energi Lingkungan Perkotaan: Upaya Memahami dan Mengurangi Iklim Panas Perkotaan*. UGM PRESS.

Saidal Siburian, M., & Mar, M. (2020). *Pencemaran Udara dan Emisi Gas Rumah Kaca*. Kreasi Cendekia Pustaka.

Saidin, M. S., Lee, L. S., Marjugi, S. M., Ahmad, M. Z., & Seow, H.-V. (2023). Fuzzy method based on the removal effects of criteria (MEREC) for determining objective weights in multi-criteria decision-making problems. *Mathematics*, 11(6), 1544.

Salghuna, N. (2022). *Mitigation Strategies for a Moderate Radiative Temperature of the Land Surface—A Case Study on Local Scale Urban Heat Island in Sub Urban Region of India*. 206–209.

Santiago, R., Bergamaschi, F., Bustince, H., Dimuro, G., Asmus, T., & Sanz, J. A. (2020). On the normalization of interval data. *Mathematics*, 8(11), 2092.

Shakirova, O. G., Bashkov, O. V., & Khusainov, A. A. (Ed.). (2021). *Current Problems and Ways of Industry Development: Equipment and Technologies* (Vol. 200). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-69421-0>

Sidharta, M. N., & Putri, L. (2023). Evaluasi Desain Aplikasi Delivery Menggunakan Metode System Usability Scale. *JNATIA (Jurnal Nasional Teknologi Informasi dan Aplikasinya)*, 2(1).

Tae, Y. A. F. W., Kalaway, R. Y., & Lede, P. A. R. L. (2022). Application of the *Weighted Product* Method in a Decision Support System to Determine

Children's Multiple Intelligence. *IJCCS (Indonesian Journal of Computing and Cybernetics Systems)*, 16(3), 251–260.

Tang, H. H., & Ahmad, N. S. (2024). Fuzzy logic approach for controlling uncertain and nonlinear systems: A comprehensive review of applications and advances. *Systems Science & Control Engineering*, 12(1), 2394429.

Tucan, P., Gherman, B., Major, K., Vaida, C., Major, Z., Plitea, N., Carbone, G., & Pisla, D. (2020). Fuzzy Logic-Based Risk Assessment of a Parallel Robot for Elbow and Wrist Rehabilitation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(2). <https://doi.org/10.3390/ijerph17020654>

Utami, L. A., & Febriningrum, K. (2023). Implementation of *Weighted Product* Method in Determining Selection the Best Music Streaming Service Application. *Jurnal Techno Nusa Mandiri*, 20(1), 31–40.

V, T., & Ahalya, T. (2024). Fuzzy Logic Controller in COG and Mamdani Method. Dalam Dr. Reena, Dr. P. S. Banu, Dr. N. Goyal, Mrs. Vanaja, Dr. S. Bhaumik, Dr. S. Raut, Dr. D. Patil, & Ms. K. Aggarwal (Ed.), *Futuristic Trends in Contemporary Mathematics & Applications Volume 3 Book 1* (First, hlm. 111–122). Iterative International Publishers, Selfypage Developers Pvt Ltd. <https://doi.org/10.58532/V3BJCM1P1CH11>

Vikki, Z. (2022). Penerapan Metode *Weighted Product* Melalui Pendekatan Logika Fuzzy Pada Kasus Pemilihan Ketua Osim Man 7 Bireuen. *Jurnal TIKA Fakultas Ilmu Komputer Universitas Almuslim*, 7(2), 139.

Vilão, D., & Ramos, I. L. (2024). Lisbon Urban Climate: Statistical Analysis/Approach for Urban Heat Island Effect Based on a Pioneering Urban Meteorological Network. *Atmosphere*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/atmos15101177>

Vujovic, S., Haddad, B., Karaky, H., Sebaibi, N., & Boutouil, M. (2021). Urban heat island: Causes, consequences, and mitigation measures with emphasis on reflective and permeable pavements. *CivilEng*, 2(2), 459–484.

Wahid, R. A. (2017). Integrasi Ilmu Dalam Hadis. *PROCEEDING IAIN Batusangkar*, 1(1), 565–584.

Wardhani, A. K., & Lutfina, E. (2020). Application Culinary decision support system in Kudus city with *weighted product* method based on mobile phone. *Journal of Computer Science and Engineering (JCSE)*, 1(1), 10–16.

Widaningsih, S. (2017). Analisis Perbandingan Metode Fuzzy Tsukamoto, Mamdani dan Sugeno dalam Pengambilan Keputusan Penentuan Jumlah Distribusi Raskin di Bulog Sub. Divisi Regional (Divre) Cianjur. *Infoman's*, 11(1), 51–65.

- Wong, T. L. X., Lim, E. L., Mohd Hasan, M. R., Sougui, O. O., Milad, A., & Qu, X. (2024). Effectiveness of heat-reflective asphalt pavements in mitigating urban heat islands: A systematic literature review. *Journal of Road Engineering*, 4(4), 399–420. <https://doi.org/10.1016/j.jreng.2024.04.008>
- Zhong, C., Chen, C., Liu, Y., Gao, P., & Li, H. (2019). A Specific Study on the Impacts of PM2.5 on Urban Heat Islands with Detailed In Situ Data and Satellite Images. *Sustainability*, 11(24), 7075. <https://doi.org/10.3390/su11247075>
- Zulkarnain, R. C. (2016). Pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap perubahan suhu permukaan di kota surabaya. *Skripsi Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 1–306.