

**SISTEM PENENTUAN JENIS TANAMAN VEGETASI PADA SIMULASI
MITIGASI *URBAN HEAT ISLAND* (UHI) BERBASIS VIKOR**

SKRIPSI

**Oleh:
YUZEMA MALA NAZIRA
NIM. 210605110156**



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

**SISTEM PENENTUAN JENIS TANAMAN VEGETASI PADA SIMULASI
MITIGASI *URBAN HEAT ISLAND* (UHI) BERBASIS VIKOR**

SKRIPSI

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

Oleh :
YUZEMA MALA NAZIRA
NIM. 210605110156

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

HALAMAN PERSETUJUAN

SISTEM PENENTUAN JENIS TANAMAN VEGETASI PADA SIMULASI MITIGASI *URBAN HEAT ISLAND* (UHI) BERBASIS VIKOR

SKRIPSI

Oleh :
YUZEMA MALA NAZIRA
NIM. 210605110156

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal: 12 Juni 2025

Pembimbing I,



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

HALAMAN PENGESAHAN

SISTEM PENENTUAN JENIS TANAMAN VEGETASI PADA SIMULASI MITIGASI *URBAN HEAT ISLAND* (UHI) BERBASIS VIKOR

SKRIPSI

Oleh :

YUZEMA MALA NAZIRA
NIM. 210605110156

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

Susunan Dewan Penguji

Ketua Penguji : A'la Syauqi, M.Kom
NIP. 19771201 200801 1 007

Anggota Penguji I : Shoffin Nahwa Utama, M.T
NIP. 19860703 202012 1 003

Anggota Penguji II : Dr. Yunifa Miftachul 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. Fachrul Kurniawan, M.MT., IPU
NIP. 19771020 200912 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yuzema Mala Nazira
NIM : 210605110156
Fakultas / Program Studi : Sains dan Teknologi / Teknik Informatika
Judul Skripsi : Sistem Penentuan Jenis Tanaman Vegetasi Pada
Simulasi Mitigasi *Urban Heat Island* (UHI)
Berbasis VIKOR

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, 20 Juni 2025

Yang membuat pernyataan,



Yuzema Mala Nazira

NIM.210605110156

MOTTO

“The best way to predict the future is to creat it”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan pertolongan-Nya kepada hamba-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan karya ini dengan baik. Serta tidak lupa sholawat dan salam saya curahkan kepada nabi agung Muhammad SAW.

Saya persembahkan karya ini dengan penuh cinta dan sayang kepada :

Ayah dan Ibu, Bapak Supriyono dan Ibu Astutik

Atas segala kasih sayang, doa, dan pengorbanan tiada hentinya kepada saya selama ini. Semoga karya ini menjadi salah satu persembahan yang terbaik untuk pengorbanan ayah dan ibu serta dapat menjadi keberkahan untuk semuanya.

Kelurga tersayang,

Atas segala dorongan dan semangat untuk menyelesaikan karya ini.

Dosen pembimbing serta teman-teman penelitian,

atas ilmu, arahan, dan dukungan yang sangat berarti sepanjang proses ini.

Untuk diri sendiri,

Terimakasih karena telah melawan rasa malas, rasa sedih, cemas dan takut selama pengerjaan karya ini, terimakasih telah bertahan dan mau berjuang bersama ayah dan ibu

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Segala puji bagi Allah *Subhanahu wa ta'ala*, atas limpahan rahmat dan petunjuk-Nya, yang telah memberikan kekuatan serta kemudahan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi berjudul ” Sistem Penentuan Jenis Tanaman Vegetasi Pada Simulasi Mitigasi *Urban Heat Island* (UHI) Berbasis VIKOR” dengan baik dan lancar. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa umat manusia dari zaman kegelapan menuju cahaya Islam yang penuh berkah dan petunjuk.

Skripsi ini adalah buah dari perjalanan panjang dalam menyelesaikan tugas akhir sebagai bagian dari persyaratan kelulusan di Program Studi Teknik Informatika, UIN Maulana Malik Ibrahim Malang. Selama proses penyusunannya, penulis mendapat banyak dukungan dari berbagai pihak. Sebagai wujud penghargaan, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. M. Zainuddin, M.A., sebagai Rektor UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si., sebagai Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Ir. Fachrul Kurniawan, M.MT., IPU., sebagai Ketua Program Studi Teknik Informatika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr Yunifa Miftahul Arif, M.T., sebagai Dosen Pembimbing I, yang telah sabar dalam memberikan bimbingan dan arahan dalam pengerjaan skripsi ini.

5. Dr. M. Imamudin, Lc., MA., selaku Dosen Pembimbing II, atas bimbingan dan pendapat yang diberikan kepada penulis dalam proses penulisan skripsi dan integrasi keilmuan Islam.
6. Bapak A'la Syauqi, M.Kom sebagai Dosen Penguji I, dan Shoffin Nahwa Utama, M.T sebagai Dosen Penguji II, atas segala masukan dan saran berharga yang telah diberikan dalam penyempurnaan skripsi ini.
7. Seluruh dosen, staf administrasi, laboran, serta seluruh jajaran di Program Studi Teknik Informatika atas ilmu, dukungan, dan arahnya.
8. Saya ucapkan terima kasih kepada Ayah dan Ibu, Bapak Supriyono dan Ibu Astutik, atas segalan doa dan dukungan. Terimakasih karena telah mau untuk berjuang bersama dalam mewujudkan cita-cita ini dan mengusahakan segalanya serta senantiasa kebersamai langkah penulis selama ini. Semoga kedepannya penulis dapat membalas segala kebaikan serta memberikan yang terbaik untuk Ayah dan Ibu bahkan lebih dari apa yang telah diberikan oleh Ayah dan Ibu selama ini.
9. Tidak lupa kepada teman-teman saya "Ceciwi" yang terdiri atas Suci, Farros, Afifah. Terimakasih karena sudah kebersamai penulis selama 4 tahun ini, menjadi teman yang baik, pendengar yang baik, dan berbagi keluh kesah yang tiada henti selama ini. Semoga kedepannya kita semua dapat terus berproses bersama.
10. Serta saya ucapkan terima kasih kepada teman dekat saya, Adnan Muhammad Taufiqulhakim, yang menjadi bagian dari kelompok penelitian ini. Terimakasih atas segala bantuan, kerjasama, serta dukungannya selama

ini dalam proses pengerjaan skripsi ini. Semoga kedepannya selalu diberikan kemudahan dan dilimpahkan segala kebaikan.

11. Kepada semua pihak dan rekan-rekan penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberikan dukungan serta bantuan secara tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyampaikan terima kasih.

Sebagai akhir dari tulisan ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna dan masih terdapat berbagai kekurangan. Meskipun demikian, penulis tetap berharap karya ini dapat memberikan manfaat, baik bagi pembaca maupun bagi penulis sendiri.

Malang, 20 Juni 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN.....	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
ABSTRAK.....	xv
ABSTRACT	xvi
مستخلص البحث	xvii
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 <i>Simulation Game</i>	10
2.3 <i>Urban Heat Island</i>	12
2.4 Vegetasi	14
2.4.1 Pohon Mahoni (<i>Switenia machrophylla</i>).....	15
2.4.2 Pohon Tabebuian (<i>Tabebuia rosea</i>)	16
2.4.3 Pohon Trembesi (<i>Samanea saman</i>).....	17
2.4.4 Kerai Payung (<i>Filicium decipiens</i>).....	18
2.4.5 Pohon Sonokeling (<i>Dalbergia oliveri</i>)	19
2.4.6 Pohon Angsana (<i>Pterocarpus indicus</i>).....	20
2.4.7 Pohon Linden (<i>Tillia cordata</i>).....	21
2.4.8 Pohon Hazel (<i>Corylus</i>)	22
2.5 <i>Decision Support System</i>	23
2.6 VIKOR.....	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Analisis dan Perancangan <i>Simulation Game</i>	27
3.1.1 Analisis <i>Simulation Game</i>	27
3.1.2 Perancangan <i>Simulation Game</i> Menggunakan FSM.....	28
3.1.3 Perancangan Antarmuka <i>Simulation Game</i>	29
3.1.4 Desain Sistem	34
3.2 Rancangan Perhitungan VIKOR	35
3.2.1 Alternatif	35
3.2.2 Kriteria	36
3.2.3 Matriks Keputusan	40
3.2.4 Normalisasi Matriks Keputusan	40
3.2.5 Menghitung Hasil Normalisasi Terbobot	41
3.2.6 Menentukan Nilai S dan R	41

3.2.7 Menentukan Nilai VIKOR	42
3.3 Desain Pengujian Sistem	43
3.3.1 Confusion Matrix	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1 Implementasi Sistem.....	45
4.1.1 Implementasi Perhitungan Metode VIKOR.....	45
4.2 Pengujian Sistem	50
4.2.1 Uji Coba Hasil VIKOR Pada <i>Game</i>	50
4.2.2 Pengujian Confusion Matrix	53
4.3 Integrasi Islam dalam Sains.....	56
4.3.1 <i>Muamalah Ma'a Allah</i>	56
4.3.2 <i>Muamalah ma'a al-A'lam</i>	57
4.3.3 <i>Muamalah Ma'a An-Nas</i>	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	61
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Switenia macropylla</i>	16
Gambar 2. 2 <i>Tabebuia rosea</i>	17
Gambar 2. 3 <i>Samanea saman</i>	18
Gambar 2. 4 <i>Filicium decipiens</i>	19
Gambar 2. 5 <i>Dalbergia oliveri</i>	20
Gambar 2. 6 <i>Pterocarpus indicus</i>	21
Gambar 2. 7 <i>Tillia cordata</i>	22
Gambar 2. 8 <i>Corylus</i>	23
Gambar 3. 1 <i>Finite State Machine</i>	29
Gambar 3. 2 Tampilan Awal <i>Game</i>	29
Gambar 3. 3 Tampilan Pemilihan Area	30
Gambar 3. 4 Tampilan Wilayah Perumahan	31
Gambar 3. 5 Tampilan Slider Kriteria	32
Gambar 3. 6 Tampilan Implementasi Rekomendasi	33
Gambar 3. 7 Tampilan <i>Mission Complete</i>	34
Gambar 3. 8 Diagram Sistem <i>Green Scape</i>	34
Gambar 4. 1 Uji Coba C1.....	51
Gambar 4. 2 Uji Coba C2.....	51
Gambar 4. 3 Uji Coba C3.....	52
Gambar 4. 4 Uji Coba C4.....	52
Gambar 4. 5 Uji Coba C5.....	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait	7
Tabel 3. 1 Alternatif	36
Tabel 3. 2 Kriteria	36
Tabel 3. 3 Perhitungan Pembobotan	38
Tabel 3. 4 Ketentuan Nilai Kriteria.....	39
Tabel 3. 5 Matriks Keputusan	40
Tabel 3. 6 Normalisasi matriks keputusan metode VIKOR.....	40
Tabel 3. 7 Normalisasi Terbobot.....	41
Tabel 3. 8 Nilai <i>Utility</i> (S)	41
Tabel 3. 9 Nilai <i>Regret</i> (R).....	42
Tabel 3. 10 Nilai akhir VIKOR dan Ranking	42
Tabel 3. 11 Model <i>Confusion Matrix</i>	43
Tabel 4. 1 Matriks Keputusan	46
Tabel 4. 2 Normalisasi Matriks Keputusan.....	47
Tabel 4. 3 Normalisasi Terbobot.....	47
Tabel 4. 4 Perhitungan S dan R.....	49
Tabel 4. 5 Nilai Q.....	49
Tabel 4. 6 Pengujian <i>Confusion Matrix</i>	54

ABSTRAK

Nazira, Yuzema Mala. 2025. **Sistem Penentuan Jenis Tanaman Vegetasi Pada Simulasi Mitigasi Urban Heat Island (UHI) Berbasis VIKOR**. Skripsi. Program Studi Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Dr. Yunifa Miftachul Arif, M.T (II) Dr. M. Imamudin, Lc., MA

Kata Kunci: *Urban Heat Island (UHI), Decision Support System, Mitigasi, Vegetasi, VIKOR.*

Fenomena Urban Heat Island (UHI) menjadi tantangan besar dalam perencanaan kota yang berkelanjutan. Salah satu solusi yang efektif untuk mengatasi UHI adalah dengan memilih vegetasi yang tepat. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem berbasis game yang menggunakan metode VIKOR (Višekriterijumsko Kompromisno Rangiranje) untuk menentukan tanaman vegetasi yang paling efektif dalam mitigasi UHI di Kota Malang. Sistem ini mempertimbangkan lima kriteria utama, yaitu penurunan suhu, laju evapotranspirasi, kepadatan daun, tingkat perawatan, dan estetika, yang digunakan untuk menilai dan meranking alternatif tanaman. Metode VIKOR digunakan untuk menghasilkan solusi kompromi yang dapat diterima berdasarkan perhitungan nilai utilitas (S) dan nilai penyesalan (R) untuk setiap alternatif, yang akhirnya menghasilkan peringkat tanaman yang optimal. Dalam pengujian sistem, metode VIKOR menunjukkan akurasi 94%, precision 94%, recall 100%, dan F-measure 96,9%, yang menunjukkan kinerja yang sangat baik. Game simulasi ini memungkinkan pemain untuk memilih jenis vegetasi yang sesuai dengan kriteria yang diinginkan dan memberikan dampak nyata terhadap penurunan suhu di lingkungan perkotaan.

ABSTRACT

Nazira, Yuzema Mala. 2025. **System for Determining Vegetation Types in Urban Heat Island (UHI) Mitigation Simulations Based on VIKOR**. Thesis. Informatics Engineering Study Program Faculty of Science and Technology Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Malang. Advisor: (I) Dr. Yunifa Miftachul Arif, M.T (II) Dr. M. Imamudin, Lc., MA

Keywords: Urban Heat Island (UHI), Decision Support System, Mitigation, Vegetation, VIKOR.

The Urban Heat Island (UHI) phenomenon poses a major challenge in sustainable urban planning. One effective solution to address UHI is to select the right vegetation. This study aims to develop a game-based system that uses the VIKOR (Višekriterijumsko KOmpromisno Rangiranje) method to provide recommendations for the most effective vegetation selection in mitigating UHI in Malang City. The system considers five main criteria: temperature reduction, evapotranspiration rate, leaf density, maintenance level, and aesthetics, which are used to evaluate and rank plant alternatives. The VIKOR method is employed to generate an acceptable compromise solution based on the calculation of utility values (S) and regret values (R) for each alternative, ultimately yielding the optimal plant ranking. In system testing, the VIKOR method demonstrated 94% accuracy, 94% precision, 100% recall, and an F-measure of 96.9%, indicating excellent performance. This simulation game allows players to select vegetation types that align with desired criteria and have a real impact on temperature reduction in urban environments.

مستخلص البحث

نازيرا، يوزما مالا 2025. نظام اختيار نوع نباتات الغطاء النباتي لمحاكاة التخفيف من حدة التغير المناخي في المناطق الحضرية (UHI) استنادًا على نظام VIKOR. رسالة جامعية. قسم هندسة الحاسوب، كلية العلوم والتكنولوجيا، بجامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف: (1) الدكتور يونيفه مفتاحول العريف، ماجستير (2) الدكتور محمد إمام الدين، ماجستير

الكلمات المفتاحية: الجزر الحرارية الحضرية (UHI)، نظام دعم اتخاذ القرار، التخفيف، الغطاء النباتي، VIKOR.

تمثل ظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية (UHI) تحديًا كبيرًا في التخطيط الحضري المستدام. ومن الحلول الفعالة للتغلب على ظاهرة UHI اختيار الغطاء النباتي المناسب. يهدف هذا البحث إلى تطوير نظام قائم على الألعاب يستخدم طريقة VIKOR (Višekriterijumsko KOmpromisno Rangiranje) لتقديم توصيات لاختيار النباتات الأكثر فعالية في التخفيف من ظاهرة ارتفاع درجة الحرارة في مدينة مالانج. ويأخذ النظام في الاعتبار خمسة معايير رئيسية، وهي خفض درجة الحرارة، ومعدل التبخر والتشح، وكثافة الأوراق، ومستوى الصيانة، والجماليات، والتي تُستخدم لتقييم وترتيب بدائل النباتات. تُستخدم طريقة VIKOR لتوليد حل وسط مقبول بناءً على حساب قيمة المنفعة (S) وقيمة الندم (R) لكل بديل، مما يؤدي في النهاية إلى ترتيب النباتات المثلى. في اختبار النظام، أظهرت طريقة VIKOR دقة 94% ودقة 94% واستدعاء 100% ومقياس F-مقياس 96.9%، مما أظهر أداءً ممتازًا. تسمح لعبة المحاكاة هذه للاعبين باختيار أنواع النباتات التي تتوافق مع المعايير المطلوبة ولها تأثير حقيقي على خفض درجات الحرارة في البيئات الحضرية.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Urbanisasi yang pesat terjadi di seluruh dunia, khususnya di negara berkembang. Pada masa mendatang, peningkatan urbanisasi Indonesia diperkirakan meningkat dari 56,7% pada tahun 2020 menjadi 63,4% pada tahun 2030 (BPS, 2020). Adanya proses urbanisasi yang berkembang pesat dapat mengakibatkan peralihan fungsi lahan dari lahan tak terbangun menjadi lahan terbangun, sehingga banyak diantaranya menjadi lahan pemukiman dari yang awalnya berupa lahan resapan (Amri, 2020). Fenomena mencolok yang mengiringi pertumbuhan kota karena adanya urbanisasi adalah iklim dengan suhu yang lebih tinggi dibandingkan daerah sekitarnya atau yang biasa disebut dengan Urban Heat Island (UHI).

Fenomena UHI ini mengarah pada peningkatan suhu yang tidak hanya mengganggu kenyamanan kehidupan sehari-hari, tetapi juga berisiko memperburuk kualitas udara, meningkatkan polusi, dan menambah permasalahan kesehatan masyarakat akibat panas ekstrem. Urban Heat Island (UHI) menjadi salah satu dampak signifikan dari urbanisasi, di mana aktivitas manusia yang intensif mengubah lingkungan perkotaan, seperti pengurangan ruang terbuka hijau dan peningkatan permukaan yang menyerap panas, yang akhirnya mempengaruhi iklim lokal (Furuya et al., 2023). Munculnya fenomena ini semakin mendapat perhatian karena dampak negatifnya terhadap kualitas hidup di perkotaan serta tantangan yang dihadirkan dalam mendukung pembangunan berkelanjutan (Ren et al., 2021).

Seiring dengan meningkatnya urgensi untuk mengatasi UHI, mitigasi terhadap fenomena ini menjadi langkah yang perlu segera diimplementasikan. Salah satu solusi yang efektif adalah melalui penentuan jenis tanaman vegetasi yang tepat, mengingat peran vegetasi dalam menurunkan suhu melalui mekanisme alamiah seperti penguapan air dari tanaman (evapotranspirasi) yang membantu mendinginkan udara di sekitar tanaman, pemberian naungan, dan penyerapan radiasi matahari. Dengan memanfaatkan vegetasi sebagai solusi, diharapkan dampak negatif dari UHI dapat diminimalkan secara berkelanjutan. Pada surah Yasin: 80 Allah SWT berfirman:

الَّذِي جَعَلَ لَكُم مِّنَ الشَّجَرِ الْأَخْضَرِ نَارًا فَإِذَا أَنتُم مِّنْهُ تُوقِدُونَ

“Yaitu (Allah) yang menjadikan api untukmu dari kayu yang hijau, maka seketika itu kamu nyalakan (api) dari kayu itu.” (Q.S. Yasin: 80)

Ayat ini mengandung pesan tentang pentingnya pohon dan tanaman hijau yang memiliki banyak manfaat. Menurut tafsir Ilmu Tumbuhan Kemenag RI, tumbuhan tidak hanya menghasilkan energi melalui proses fotosintesis yang mana tumbuhan menyerap karbon dioksida kemudian mengeluarkan oksigen, pohon juga berperan dalam menjaga keseimbangan alam, seperti penyerapan panas dan pengaturan suhu, yang sangat relevan dalam konteks mitigasi UHI (Kemenag RI, 2011). Penentuan vegetasi yang tepat pada penelitian ini berusaha untuk menciptakan solusi yang sejalan dengan prinsip keberlanjutan yang diajarkan dalam Al-Qur'an tentang menjaga dan merawat bumi sebagai amanah.

Namun, penentuan jenis vegetasi yang tepat untuk mengurangi suhu perkotaan tidaklah sederhana (Sitanggang et al., 2021). Setiap jenis tanaman

memiliki karakteristik berbeda dalam hal kapasitas evapotranspirasi, kepadatan daun, dan kemampuan penyerapan panas. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang dapat mengidentifikasi dan merekomendasikan jenis vegetasi yang paling efektif sesuai dengan kondisi lingkungan perkotaan. Dalam hal ini, metode *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) seperti VIKOR (*VIsekriterijumsko KOmpromisno Rangiranje*) menawarkan pendekatan yang dapat membantu pengambilan keputusan dalam menentukan vegetasi yang optimal, dengan mempertimbangkan berbagai faktor yang saling berkaitan, seperti laju evapotranspirasi, kepadatan daun, dan iklim mikro. Metode VIKOR dikembangkan oleh Opricovic (1998) sebagai pendekatan MCDM yang menentukan solusi kompromi yang dapat diterima oleh semua pengambil keputusan dan memecahkan masalah keputusan multi-kriteria diskrit.

Pada penelitian oleh Tegar Nur Hidayat dengan judul “Anjuran Pemilihan Sepatu untuk Karakter yang Fleksibel pada *Game Endless Runner* "Lari Nusantara" Menggunakan VIKOR. Pada penelitian ini pemain game "Lari Nusantara" kesulitan memilih sepatu karakter yang sesuai, sementara sistem randomisasi kurang efektif. Kemudian menjadikan metode VIKOR untuk merekomendasikan sepatu berdasarkan 8 kriteria performa. Dengan membuat matriks keputusan, menghitung skor utility dan regret, lalu meranking alternatif sepatu. Selanjutnya didapat hasil sistem VIKOR efektif membantu pemain memilih sepatu sesuai preferensi, menggantikan randomisasi (Hidayat, 2024).

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah sistem berbasis VIKOR yang dapat memberikan solusi dalam menentukan jenis tanaman vegetasi

yang paling efektif untuk mitigasi UHI di Kota Malang. Sehingga inisiasi Simulasi *Green Scape* yang berfokus pada penentuan jenis tanaman vegetasi dalam mengatasi UHI di Kota Malang. Setiap jenis vegetasi memiliki kriteria tertentu dan berbeda – beda dan pemain harus mempertimbangkan faktor – faktor seperti Laju evapotranspirasi, *Leaf Area Density* (LAD) atau kepadatan daun sebagai faktor kunci dalam mengurangi suhu udara dan memberi efek pendinginan.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana menentukan jenis tanaman vegetasi yang efektif dalam simulasi mitigasi *Urban Heat Island* (UHI)?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

- a. Kriteria yang digunakan dalam penentuan keputusan di antaranya Penurunan Suhu, Laju Evapotranspirasi, Kepadatan Daun, Tingkat Perawatan dan Estetika.
- b. Variabel alternatif yang digunakan berjumlah 8 alternatif, diantara lain Pohon Mahoni, Pohon Tabebuia, Pohon Trembesi, Pohon Kiara Payung, Pohon Sonokeling, Pohon Angsana, Pohon Linden dan Pohon Hazel.
- c. Simulasi hanya dilakukan pada siang hari, saat UHI mencapai puncaknya, untuk memberikan hasil analisis yang lebih relevan terhadap kondisi nyata.
- d. Tidak mempertimbangkan faktor non-ekologis seperti kebijakan pemerintah, keterbatasan lahan, atau faktor sosial lainnya dalam implementasi vegetasi.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan jenis tanaman vegetasi yang efektif pada simulasi mitigasi *Urban Heat Island* (UHI) menggunakan metode VIKOR

1.5 Manfaat Penelitian

- a. Bagi pemain, diharapkan dapat memberi edukasi terkait mitigasi UHI dan membantu dalam memilih jenis vegetasi yang optimal dalam penurunan suhu.
- b. Bagi peneliti, diharapkan dapat menjadi referensi penelitian terkait selanjutnya.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Terdapat beberapa penelitian sebelumnya sebagai referensi dalam pelaksanaan penelitian ini, salah satu contohnya penelitian yang dilakukan oleh Puteri et al. (2016) dengan judul Rancang Bangun Permainan Edukatif “Stop Global Warming” Menggunakan Metode *Fisher Yates Shuffle*. Penelitian ini bertujuan dalam menambah edukasi terkait mitigasi permasalahan global seperti perubahan iklim. Skema yang diimplementasi dalam game seperti tugas hemat energi, upaya reboisasi, dan pemilahan limbah. Adanya *game* ini sangat penting sebagai bentuk edukasi dan peka terhadap kondisi lingkungan dan permasalahan global yang terjadi. Dengan menggunakan algoritma Fisher Yates Shuffle untuk mengacak elemen seperti lampu, benih, dan item limbah, memastikan pengalaman gameplay yang dinamis dan bervariasi (Puteri et al., 2016).

Penelitian yang dilakukan oleh Mesran et al. (2020) dengan judul Penerapan Metode *VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje* (VIKOR) dalam Pemilihan *Air Conditioner* Terbaik. Metode VIKOR diterapkan dalam pemilihan *Air Conditioner* (AC) terbaik, di mana metode ini membantu pengambil keputusan untuk menilai berbagai alternatif AC berdasarkan kriteria seperti harga, kecepatan pendinginan, pemakaian daya listrik, dan garansi. Metode VIKOR menggunakan pendekatan multi-kriteria untuk melakukan perangkingan dan memilih alternatif yang mendekati solusi ideal kompromi. Penelitian ini menyimpulkan bahwa

VIKOR sangat bermanfaat dalam situasi pengambilan keputusan yang kompleks dengan kriteria yang beragam, serta memberikan hasil yang dapat diandalkan dalam membantu konsumen membuat keputusan yang lebih tepat dan memuaskan (Mesran et al., 2020).

Penelitian oleh Ihsan dan Rosleine (2020) menunjukkan bahwa vegetasi, khususnya pohon Angsana, Pohon Mahoni, dan Pohon Trembesi, efektif dalam mengatasi fenomena *Urban Heat Island* (UHI) di Bandung, Jawa Barat. Dari ketiga spesies, Pohon Trembesi memiliki kemampuan terbaik dalam menurunkan suhu udara hingga 3,80°C dan suhu permukaan hingga 10,49°C, berkat kanopi yang lebar dan kerapatan daun yang moderat. Hasil ini menegaskan pentingnya penanaman pohon sebagai strategi mitigasi UHI, di mana vegetasi berperan krusial dalam menciptakan lingkungan yang lebih nyaman dan mengurangi dampak panas di kawasan perkotaann (Ihsan & Rosleine, 2020).

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait

No.	Judul	Peneliti	Metode	Hasil
1.	Rancang Bangun Permainan Edukatif “ <i>Stop Global Warming</i> ” Menggunakan Metode <i>Fisher Yates Shuffle</i>	(Puteri et al., 2016)	<i>Fisher Yates Shuffle</i>	Karena kurangnya kesadaran anak-anak tentang pentingnya menjaga lingkungan dan mencegah pemanasan global. Sehingga dibuat permainan edukasi 3D “ <i>Stop Global Warming</i> ” untuk anak usia 7-13 tahun, dengan menu pembelajaran dan mini-game (hemat energi, penghijauan, memilah sampah). Menggunakan metode pengembangan multimedia, algoritma <i>Fisher Yates Shuffle</i> untuk pengacakan objek dalam game dan pengujian alfa dan beta dengan kuesioner kepada 20 responden. Sehingga menghasilkan permainan efektif meningkatkan kesadaran lingkungan. Dengan penilaian responden sangat baik

No.	Judul	Peneliti	Metode	Hasil
				(83%-89%) pada aspek fungsi, kemudahan, dan materi edukasi.
2.	Penerapan Metode <i>VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje</i> (VIKOR) dalam Pemilihan <i>Air Conditioner</i> Terbaik	(Mesran et al., 2020)	VIKOR	Mengangkat permasalahan konsumen kesulitan memilih AC terbaik karena banyaknya merek dengan kriteria yang berbeda (harga, daya listrik, kecepatan pendinginan, dll.). Maka dibuat sebuah sistem pendukung keputusan berbasis metode VIKOR untuk menentukan AC terbaik dengan solusi kompromi. Menggunakan metode normalisasi matriks keputusan berdasarkan 6 kriteria, Perhitungan nilai S, R, dan Q untuk menentukan peringkat. Yang mana menghasilkan merek LG T05NLA menjadi pilihan terbaik dengan nilai Q terkecil (0).
3.	Penerapan Metode VIKOR Pada Pengambilan Keputusan Seleksi Calon Penerima Beasiswa di SMK TPI Al-Hassanah Pematang Bandar	(Ningsih et al., 2020)	VIKOR	Berkaitan dengan permasalahan subjektivitas dalam seleksi beasiswa yang melibatkan banyak kriteria (nilai, penghasilan, tanggungan, saudara kandung). Sehingga dibuat sistem pendukung keputusan berbasis metode VIKOR untuk memberikan solusi kompromi dan seleksi objektif. Dengan menggunakan kriteria nilai raport, rangki -0ng, tanggungan, dan penghasilan. Kemudian Perhitungan nilai utilitas (<i>S</i>), regret (<i>R</i>), dan indeks VIKOR (<i>Q</i>) untuk menentukan peringkat. Sehingga menunjukkan hasil Lannyari dipilih sebagai penerima beasiswa terbaik dengan nilai <i>Q</i> terkecil (0).
4.	Anjuran Pemilihan Sepatu untuk Karakter yang Fleksibel pada <i>Game Endless Runner</i> "Lari Nusantara" Menggunakan VIKOR	(Hidayat, 2024)	VIKOR	Dari pemain game "Lari Nusantara" kesulitan memilih sepatu karakter yang sesuai, sementara sistem randomisasi kurang efektif. Kemudian menjadikan metode VIKOR untuk merekomendasikan sepatu berdasarkan 8 kriteria performa.

No.	Judul	Peneliti	Metode	Hasil
				Dengan membuat matriks keputusan, menghitung skor utility dan regret, lalu meranking alternatif sepatu. Selanjutnya didapat hasil sistem VIKOR efektif membantu pemain memilih sepatu sesuai preferensi, menggantikan randomisasi.
5.	<i>Cooling Effects Of Two Types Of Tree Canopy Shape In Penang, Malaysia</i>	(Tukiran et al., 2016)	Pengukuran lapangan, analisis LAI	Radiasi matahari tinggi di Penang, Malaysia, menyebabkan ketidaknyamanan termal. Studi ini mengevaluasi efek pendinginan dua bentuk kanopi pohon, rounded dan spreading, melalui analisis mikroklimat (suhu, kelembapan, radiasi matahari, dan Leaf Area Index/LAI) menggunakan fotografi hemispherical dan simulasi ENVI-met. Hasilnya, pohon dengan LAI tinggi, seperti <i>Swietenia macrophylla</i> dan <i>Tabebuia rosea</i> , efektif menurunkan suhu udara hingga 4,21% dan suhu permukaan hingga 17,08%. Penelitian menunjukkan korelasi positif antara LAI, naungan, dan kemampuan pohon mengurangi suhu, menawarkan solusi untuk lingkungan tropis.
6.	<i>Cooling effect to mitigate Urban Heat Island by Pterocarpus indicus, Swietenia macrophylla and Samanea saman in Bandung, West Java Indonesia</i>	(Ihsan & Rosleine, 2020)	Pengukuran lapangan, ANOVA, Kruskal-Wallis	Urban Heat Island (UHI) di Bandung akibat urbanisasi dan perubahan lahan meningkatkan suhu dan mengurangi kenyamanan kota. Solusi mitigasi dilakukan melalui penanaman tiga spesies pohon utama: <i>Samanea saman</i> (Trembesi), <i>Swietenia macrophylla</i> (Mahoni), dan <i>Pterocarpus indicus</i> (Angsana). Analisis mikroklimat dan karakteristik kanopi menunjukkan <i>Samanea saman</i> paling efektif menurunkan suhu udara hingga -3,80°C dan permukaan hingga -10,49°C, berkat kanopi luas dan daun sedang. <i>Swietenia macrophylla</i> memiliki efek sedang (-3,10°C udara; -5,64°C permukaan) dengan kanopi sempit dan daun

No.	Judul	Peneliti	Metode	Hasil
				lebat, sementara <i>Pterocarpus indicus</i> paling rendah (-2,28°C udara; -5,26°C permukaan) karena kanopi kecil dan daun jarang.
7.	<i>Role of Street Trees in Mitigating Effects of Heat and Drought at Highly Sealed Urban Sites</i>	ven Gillner, Juliane Vogt, Andreas Tharang, et al. (Gillner et al., 2015)	Pengukuran lapangan, analisis statistik	Urban Heat Island (UHI) akibat urbanisasi meningkatkan suhu dan tekanan panas di perkotaan. Analisis enam spesies pohon menunjukkan <i>Tilia cordata</i> dan <i>Corylus column</i> paling efektif menurunkan suhu udara hingga 2,22 K dan suhu permukaan hingga 4,63 K per unit Leaf Area Density (LAD). Dengan LAD dan transpirasi maksimum (E_{max}) tinggi, keduanya juga meningkatkan kelembapan hingga 6,48%. Pengukuran mikroklimat dan analisis fisiologi daun mendukung peran penting pohon ini dalam mitigasi UHI.
8.	<i>Assesing Cooling and Air Pollution Tolerance among Urban Tree Species in a Tropical Climate</i>	(Yarnvudhi et al., 2022)	APTI, API, Pengukuran Suhu Udara & Tanah	Urban Heat Island (UHI) dan polusi udara di wilayah tropis meningkatkan suhu dan menurunkan kualitas lingkungan perkotaan. Evaluasi 21 spesies pohon menggunakan indeks APTI (toleransi polusi) dan API (potensi pendinginan) mengidentifikasi <i>Melaleuca quinquenervia</i> , <i>Albizia saman</i> , dan <i>Chukrasia tabularis</i> sebagai spesies unggul. Pengukuran APTI (asam askorbat, klorofil, pH daun, kandungan air) dan analisis pendinginan (ΔT_s hingga 5,90°C, ΔT_a hingga 3,28°C) menunjukkan ketiganya efektif menurunkan suhu dan tahan terhadap polusi, menjadikannya solusi optimal untuk mitigasi UHI

2.2 Simulation Game

Menurut Markovic (2022), *game* merupakan permainan yang menggunakan teknologi canggih seperti *neural networks* dalam desain video game yang

mencakup elemen multimedia yang interaktif. Elemen-elemen tersebut dibuat untuk memberikan tantangan dan kepuasan kepada pemain melalui grafik realistis, kecerdasan buatan, dan mekanika permainan yang kompleks. *Game* seperti ini dirancang untuk memberikan pengalaman yang memuaskan ketika pemain berhasil menyelesaikan tantangan atau mencapai tujuan dalam permainan (Marković, 2022)

Menurut Brintnell et al. (2020) menambahkan bahwa game juga dapat digunakan sebagai alat simulasi dalam pendidikan, khususnya untuk menyampaikan konsep-konsep ilmiah yang kompleks. *Game* simulasi, seperti yang digunakan dalam VR untuk simulasi leukemia, memperlihatkan bahwa interaktivitas dan keterlibatan pengguna dapat meningkatkan pengalaman belajar dan memperpanjang durasi keterlibatan pemain dengan konten yang sulit dipahami melalui metode konvensional (Brintnell et al., 2020).

Dengan perkembangan kecerdasan buatan (AI) dan penerapannya dalam pengembangan sebuah game saat ini, memberikan lingkungan yang terkontrol di mana algoritma pengambilan keputusan diuji. Hal ini memungkinkan pengembangan model AI yang dapat mengelola berbagai fungsi permainan seperti memilih strategi dan memberi rekomendasi, menghindari rintangan, dan berinteraksi dengan lingkungan *game* (Soboleva & Shalaginova, 2019).

Game, terutama simulasi berbasis permainan (*game simulation*), dapat menjadi alat yang sangat berguna dalam menyelesaikan permasalahan lingkungan, termasuk *Urban Heat Island* (UHI). UHI adalah fenomena di mana daerah perkotaan memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan daerah pedesaan sekitarnya. Simulasi dalam *game* memungkinkan perencanaan kota dan ilmuwan

lingkungan untuk menguji berbagai skenario untuk mengurangi dampak UHI, seperti penentuan jenis vegetasi yang tepat. Tidak hanya itu, *game* ini dapat dijadikan sebagai sarana edukasi untuk masyarakat untuk lebih peka terhadap perubahan global dan perhatian terhadap lahan hijau yang sudah semakin terkikis.

Dalam konteks penelitian ini, *game* simulasi dapat digunakan untuk memvisualisasikan dampak dari berbagai strategi vegetasi terhadap penurunan suhu di lingkungan perumahan. Dengan menggunakan sistem pengambilan keputusan berbasis VIKOR, *game* simulasi memungkinkan perencana atau pemain untuk memilih jenis vegetasi yang paling efektif dalam mengurangi efek UHI.

2.3 *Urban Heat Island*

Fenomena *Urban Heat Island* (UHI) adalah peningkatan suhu di daerah perkotaan dibandingkan dengan daerah pedesaan atau sub-urban yang disebabkan oleh perubahan lingkungan akibat aktivitas manusia. Beberapa penelitian terkini menyoroti berbagai aspek yang relevan dengan UHI, termasuk dampaknya terhadap konsumsi energi, kualitas udara, dan kesejahteraan manusia.

Menurut penelitian, UHI dapat meningkatkan konsumsi energi di bangunan. Studi yang dilakukan oleh Parker (2021) menunjukkan bahwa efek UHI di Leeds dapat meningkatkan biaya pendinginan di hotel hingga 40% pada malam hari. Studi lain oleh Li et al. (2019) menemukan bahwa UHI meningkatkan konsumsi energi pendinginan bangunan sebesar 19% dan menurunkan konsumsi energi pemanas hingga 18,7%. Kedua penelitian ini menunjukkan variasi besar antar-kota dan dampak yang lebih kuat di pusat kota dibandingkan dengan daerah pinggiran.

Selain dampak pada konsumsi energi, UHI juga terkait dengan perubahan pola iklim lokal. Manoli et al. (2019) menyoroti hubungan antara ukuran kota dan intensitas UHI, di mana peningkatan populasi dan penurunan evaporasi berperan besar dalam intensitas UHI. Hal ini menunjukkan bahwa strategi mitigasi seperti peningkatan tutupan vegetasi dan albedo lebih efektif di daerah kering.

Penelitian lain menggarisbawahi hubungan antara UHI dan polusi udara. melakukan tinjauan literatur selama tiga dekade yang mengeksplorasi sinergi antara UHI dan *Urban Pollution Island* (UPI). Penelitian ini menekankan bahwa kombinasi UHI dan UPI dapat memperburuk kualitas udara dan meningkatkan risiko kesehatan.

Strategi mitigasi UHI juga menjadi fokus penelitian. Litardo et al. (2020) mempelajari strategi untuk mengurangi intensitas UHI di Duran, Ekuador, dengan menunjukkan bahwa UHI dapat meningkatkan konsumsi energi pendinginan hingga 30-70% untuk bangunan hunian dan 10-20% untuk bangunan komersial. Selain itu, Santamouris (2019) menyoroti bahwa urbanisasi cepat meningkatkan tantangan terkait UHI, yang memerlukan solusi mitigasi seperti vegetasi perkotaan dan penggunaan bahan reflektif untuk permukaan bangunan.

UHI memiliki dampak signifikan terhadap konsumsi energi, kualitas udara, dan kesehatan masyarakat. Mitigasi UHI memerlukan pendekatan holistik yang mempertimbangkan kondisi iklim lokal, tata letak kota, dan strategi mitigasi berbasis vegetasi dan material bangunan.

2.4 Vegetasi

Penentuan jenis vegetasi yang tepat menjadi krusial dalam upaya mengatasi UHI di perkotaan. Studi menunjukkan bahwa tanaman dengan tingkat evapotranspirasi tinggi, seperti pohon rindang, rumput, dan tanaman hijau lainnya, efektif dalam menurunkan suhu permukaan dan udara sekitar. Vegetasi di permukaan tanah, seperti taman kota, mampu menurunkan suhu permukaan hingga 2–9°C melalui proses bayangan dan evapotranspirasi, sementara atap hijau dan dinding hijau dapat menurunkan suhu permukaan hingga sekitar 17°C, yang juga memberikan insulasi termal tambahan bagi bangunan (Wong et al., 2021). Selain itu, penggunaan vegetasi dengan cakupan yang luas seperti hutan kota sangat efektif dalam mengurangi intensitas UHI pada malam hari, yang merupakan waktu di mana UHI paling terasa, terutama di wilayah tropis dan subtropis (Yan et al., 2020). Studi lain menggarisbawahi bahwa tata letak vegetasi yang optimal, seperti distribusi taman kota di seluruh wilayah perkotaan dan pemanfaatan lebih banyak pohon dibandingkan rumput, dapat meningkatkan efektivitas mitigasi UHI secara signifikan (Lu et al., 2020).

Strategi penggunaan vegetasi yang tepat dalam perencanaan kota merupakan langkah yang efektif untuk mengatasi fenomena *Urban Heat Island*. Dengan memilih dan menempatkan jenis vegetasi yang sesuai, kota-kota dapat secara signifikan mengurangi suhu lingkungan, menciptakan kondisi yang lebih nyaman, serta meningkatkan kualitas hidup penghuninya.

2.4.1 Pohon Mahoni (*Swietenia macrophylla*)

Swietenia macrophylla atau mahoni daun besar adalah spesies pohon yang banyak digunakan di kawasan perkotaan karena tajuk pohonnya yang terdiri atas cabang, ranting, dan daun-daun yang lebar atau biasa disebut dengan kanopi serta kemampuan dalam menurunkan suhu lingkungan. Penelitian menunjukkan bahwa mahoni mampu menurunkan suhu udara secara signifikan, dengan pengurangan suhu hingga 3-4°C di sekitar area kanopinya. Pengurangan suhu ini terutama disebabkan oleh kemampuannya untuk meminimalkan radiasi matahari langsung melalui naungan yang luas (Ihsan & Rosleine, 2020). Laju evapotranspirasi mahoni terbilang moderat, sekitar 100-200 mm/tahun, yang menunjukkan bahwa spesies ini mampu mendinginkan udara melalui penguapan air dari daun, meskipun tidak setinggi spesies yang lebih tropis (Cordeiro et al., 2009). Dengan kepadatan daun yang tinggi, mahoni dapat menciptakan efek teduh yang optimal, mengurangi panas permukaan secara signifikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Dari segi estetika, mahoni tergolong menarik dan memberikan kontribusi besar terhadap penghijauan kota, membuatnya menjadi pilihan yang populer untuk lanskap perkotaan. Mahoni membutuhkan perawatan rutin, termasuk pemangkasan berkala, karena pertumbuhan kanopi yang cepat dan luas (Bhuva et al., 2020).



Gambar 2. 1 *Switenia macropylla*

2.4.2 Pohon Tabebuian (*Tabebuia rosea*)

Tabebuia rosea, sering dikenal sebagai pohon terompet, adalah spesies pohon yang sangat digemari karena bunganya yang indah dan kontribusinya dalam mengurangi suhu di area perkotaan. Penelitian menunjukkan bahwa *Tabebuia rosea* dapat menurunkan suhu udara sekitar 2°C melalui efek naungan dan evapotranspirasi daun (Yarnvudhi et al., 2022). Dengan laju evapotranspirasi yang sedang, spesies ini dapat mendinginkan lingkungan melalui penguapan air dari daun, meskipun tidak seefektif beberapa spesies tropis lainnya (Gunawardena et al., 2017). *Tabebuia rosea* memiliki kepadatan daun yang relative rendah, sehingga paparan radiasi matahari langsung di bawah kanopinya tidak terlalu besar (Yarnvudhi et al., 2022). Di sisi lain, perawatannya relatif rendah, sehingga cocok untuk ditanam di lingkungan perkotaan dengan sumber daya terbatas. Secara estetika, pohon ini sangat menarik karena bunganya yang mencolok dan berwarna

cerah, yang membuatnya menjadi salah satu pilihan utama dalam penghijauan kota (Tukiran et al., 2016). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 *Tabebuia rosea*

2.4.3 Pohon Trembesi (*Samanea saman*)

Samanea saman, atau pohon hujan, dikenal karena tajuk pohonnya yang sangat luas, yang mampu memberikan efek teduh yang besar di area perkotaan. Penelitian menunjukkan bahwa pohon ini mampu menurunkan suhu udara rata-rata 3,80°C di area sekitarnya, menjadikannya salah satu spesies yang paling efektif dalam mitigasi UHI (Ihsan & Rosleine, 2020). Dengan laju evapotranspirasi atau proses penguapan air dari tanaman yang sangat tinggi, *Samanea saman* mampu mendinginkan lingkungan secara signifikan melalui pelepasan uap air dari daun-daunnya (Gunawardena et al., 2017). Kepadatan daun pohon ini cukup tinggi, memberikan efek teduh yang sangat baik, meskipun masih memungkinkan sirkulasi udara di bawah kanopi. Namun, *Samanea saman* memerlukan perawatan yang cukup sering karena kanopinya yang luas dan pertumbuhannya yang cepat, sehingga membutuhkan pemangkasan rutin untuk menjaga bentuk dan kesehatan

pohon (Bhuva et al., 2020). Dari segi estetika, pohon ini sangat menarik dengan bentuk kanopinya yang simetris dan menyebar, memberikan kesan alami dan menenangkan pada area perkotaan (Tukiran et al., 2016), hal ini sesuai yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 *Samanea saman*

2.4.4 Kerai Payung (*Filicium decipiens*)

Kerai Payung atau *Filicium decipiens* adalah pohon kecil dengan daun-daun kecil yang rapat dan halus, sering digunakan dalam lanskap perkotaan karena perawatannya yang mudah dan estetika yang menarik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Pohon ini diketahui dapat menurunkan suhu udara sekitar 2-3°C melalui efek naungan yang moderat. Laju evapotranspirasi pohon ini berada di tingkat sedang, yang menunjukkan kemampuan pendinginan yang cukup baik melalui penguapan air dari daunnya. Kepadatan daun pohon ini relatif tinggi, yang memungkinkan naungan yang cukup untuk mengurangi paparan radiasi matahari tanpa menutup seluruh area di bawahnya. *Filicium decipiens* adalah spesies yang relatif mudah dirawat dan tidak memerlukan perawatan yang intensif, sehingga cocok untuk ditanam di area perkotaan dengan sumber daya pemeliharaan yang terbatas. Secara estetika, pohon ini memberikan tampilan yang halus dan rapi

dengan bentuk daun yang menarik, sehingga sering digunakan sebagai elemen estetis dalam taman kota.

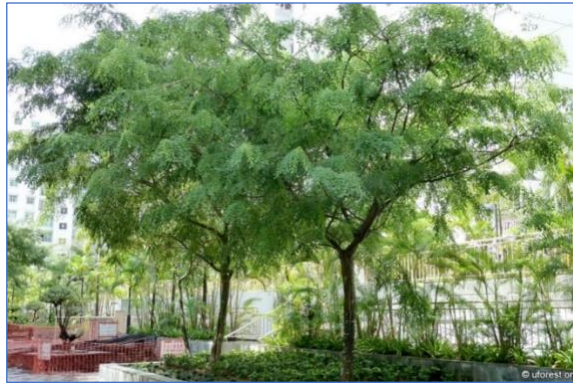


Gambar 2. 4 *Filicium decipiens*

2.4.5 Pohon Sonokeling (*Dalbergia oliveri*)

Dalbergia oliveri adalah spesies pohon yang memiliki daun yang lebat dan kanopi yang besar, membuatnya sangat efektif dalam memberikan naungan dan menurunkan suhu lingkungan. Pohon ini diketahui mampu menurunkan suhu udara sebesar 2-3°C melalui naungannya yang lebat. Laju evapotranspirasi *Dalbergia oliveri* berada pada tingkat sedang, yang berarti pohon ini mampu mendinginkan lingkungan melalui penguapan air dari daun-daunnya, meskipun tidak setinggi spesies tropis lainnya. Kepadatan daun *Dalbergia* berkisar 2m²/m³, yang membuat pohon ini mampu memberikan naungan dan melindungi area di bawahnya dari paparan matahari langsung (Tukiran et al., 2017). Namun, *Dalbergia oliveri* memerlukan perawatan yang cukup intensif karena daunnya yang lebat dan pertumbuhannya yang cepat, sehingga memerlukan pemangkasan berkala. Secara estetika, pohon ini memiliki penampilan yang lebih sederhana dan kurang mencolok dibandingkan dengan pohon lain seperti *Tabebuia* atau *Samanea Saman*.

namun memiliki memiliki bunga kecil dan struktur yang cukup menarik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2. 5 *Dalbergia oliveri*

2.4.6 Pohon Angsana (*Pterocarpus indicus*)

Pterocarpus indicus atau dikenal sebagai angšana adalah pohon besar dengan kanopi yang lebar, sering digunakan di taman kota dan jalanan karena kemampuan naungannya yang besar dan estetika yang menarik. Pohon ini mampu menurunkan suhu udara hingga 2-3°C melalui efek naungan dan penguapan air dari daunnya (Ihsan & Rosleine, 2020). Dengan laju evapotranspirasi yang sedang, angšana berkontribusi cukup baik dalam mendinginkan lingkungan melalui pelepasan uap air. Kepadatan daun angšana berada pada tingkat sedang, memberikan naungan yang cukup untuk melindungi area di bawah kanopinya dari radiasi matahari langsung. Angšana memerlukan perawatan yang moderat, termasuk pemangkasan berkala untuk menjaga kanopinya agar tetap sehat dan rapi. Dari segi estetika, angšana sangat menarik dengan bentuk kanopinya yang besar dan daun-daun yang hijau lebat, memberikan nilai estetika yang tinggi dalam lanskap perkotaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 berikut.



Gambar 2. 6 *Pterocarpus indicus*

2.4.7 Pohon Linden (*Tillia cordata*)

Tillia adalah pohon besar dengan kanopi yang lebar dan sering digunakan di area perkotaan untuk memberikan naungan yang baik dan memperindah lingkungan sekitar. Pohon ini diketahui mampu menurunkan suhu udara hingga 2-3°C melalui naungan yang efektif. Laju evapotranspirasi *Tillia* sangat tinggi, lebih dari 300 mm/tahun, yang menunjukkan kemampuannya untuk mendinginkan lingkungan dengan menguapkan air dalam jumlah besar dari daun-daunnya. Kepadatan daun pohon ini berada di tingkat sedang, memberikan naungan yang cukup untuk mengurangi paparan sinar matahari langsung di bawah kanopinya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. *Tillia* membutuhkan perawatan yang moderat, termasuk pemangkasan rutin untuk menjaga bentuk kanopinya yang besar dan menghindari pertumbuhan yang tidak teratur. Dari segi estetika, *tilia* cukup menarik dengan bunga kuningnya yang harum.



Gambar 2. 7 *Tillia cordata*

2.4.8 Pohon Hazel (*Corylus*)

Corylus adalah pohon kecil dengan bentuk yang kompak dan daun yang rapi, sering digunakan sebagai elemen estetis dalam lanskap perkotaan. Pohon ini mampu menurunkan suhu udara sekitar 2-3°C melalui naungannya yang moderat. Laju evapotranspirasi *Corylus* berada di tingkat sedang, menunjukkan kemampuannya untuk mendinginkan lingkungan melalui penguapan air dari daunnya. Kepadatan daun pohon ini juga berada pada tingkat sedang, memberikan naungan yang cukup tanpa terlalu menutupi seluruh area di bawah kanopinya. *Corylus* adalah pohon yang mudah dirawat dan tidak memerlukan pemeliharaan intensif, sehingga cocok untuk ditanam di area perkotaan dengan sumber daya pemeliharaan yang terbatas. Dari segi estetika, *Corylus* memiliki ukuran yang lebih kecil dan tampilan yang kurang dramatis, sehingga kurang memberikan daya tarik visual yang kuat seperti pada Gambar. 2.8.



Gambar 2. 8 *Corylus*

2.5 *Decision Support System*

Decision Support System (DSS) adalah sistem berbasis komputer yang dirancang untuk mendukung pengambilan keputusan dengan memadukan data, model, dan alat-alat analitik. DSS membantu pengambil keputusan dalam menyelesaikan masalah yang semi-terstruktur dan tidak terstruktur. Salah satu tujuan utama dari DSS adalah meningkatkan kualitas, kecepatan, dan efektivitas keputusan. Menurut Eom (2020), DSS adalah sistem interaktif yang melibatkan pengguna dalam proses pengambilan keputusan dengan memberikan informasi yang relevan dan model analitis yang mendukung. Dalam praktiknya, DSS digunakan untuk memecahkan masalah kompleks dengan berfokus pada efektivitas proses pengambilan keputusan daripada efisiensi (Eom, 2020).

Pada era modern, DSS terus berkembang dengan adopsi teknologi baru seperti kecerdasan buatan (AI), data besar (big data), dan komputasi awan (cloud computing). Penggunaan big data analytics memungkinkan DSS untuk menangani data yang sangat besar dan heterogen, yang sebelumnya tidak mungkin dikelola

oleh sistem tradisional. Hal ini memungkinkan DSS modern untuk memberikan wawasan yang lebih kaya dalam proses pengambilan keputusan dengan mengintegrasikan data dari berbagai sumber (Eom, 2020).

Menurut (Ramadhan & Eliyen, 2022) komponen dari Decision Support System (DSS) terdiri dari beberapa subsistem yang mencakup:

1. Manajemen Data

Dalam DSS, terdapat fungsi untuk menyimpan data yang relevan sesuai dengan kebutuhan, dengan dukungan dari sebuah aplikasi penyimpanan data yang disebut sebagai DBMS (*Database Management System*).

2. Manajemen Model

Subsistem ini kadang-kadang disebut sebagai sistem manajemen model (DBMS - *Model Base Management System*). Subsistem ini mencakup berbagai perangkat lunak yang mengintegrasikan berbagai jenis model seperti model keuangan, statistik, manajemen, dan model kuantitatif lainnya yang memberikan kemampuan analitis pada sistem.

3. Subsistem User Interface

Melalui subsistem ini, pengguna dapat berinteraksi dengan DSS. Pengguna dianggap sebagai bagian integral dari sistem dan menggunakan antarmuka ini untuk berkomunikasi dengan DSS.

4. Subsistem Knowledge-based management

Kecerdasan buatan yang diimplementasikan pada DSS mampu untuk membantu decision maker (pengambil keputusan) untuk mengambil sebuah keputusan.

2.6 VIKOR

Metode VIKOR atau *Visekriterijumsko Kompromisno Rangiranje*, yang berarti Optimisasi Multikriteria dan Solusi Kompromi, adalah metode yang dikembangkan untuk menangani masalah keputusan multikriteria yang melibatkan kriteria yang saling bertentangan dan sulit dibandingkan secara langsung (Rofiqo et al., 2018). Metode ini berguna dalam situasi di mana tidak ada satu alternatif pun yang dapat memenuhi semua kriteria secara optimal. Metode ini berfokus pada utility measure (yang mewakili total kepuasan) dan regret measure (yang mewakili ketidakpuasan terbesar) untuk setiap alternatif, serta menawarkan solusi kompromi dengan mempertimbangkan keseimbangan antara kedua aspek tersebut.

Menurut (Tumanggor et al., 2018), metode VIKOR dirancang untuk memberikan kerangka kerja yang fleksibel dalam memilih alternatif yang paling sesuai, dengan mempertimbangkan berbagai aspek yang berbeda. Dengan demikian, metode ini memungkinkan pengambil keputusan untuk menetapkan solusi kompromi yang optimal di antara berbagai pilihan.

Berikut prosedur perhitungan metode VIKOR menurut (Mardani et al., 2016)

1. Melakukan normalisasi matriks keputusan

$$R_{ij} = \left(\frac{X_j^+ - X_{ij}}{X_j^+ - X_j^-} \right) \quad (2.1)$$

Dimana i merupakan alternatif pertama hingga ke- m , dan j merujuk kepada kriteria ke 1,2,3, hingga ke- n , X_{ij} adalah nilai elemen dari setiap kriteria dan R_{ij} merupakan nilai hasil normalisasi.

2. Menghitung nilai *utility measure* (S_i) dan *regret measure* (R_i).

$$S_i = \sum_{j=1}^n W_j \left(\frac{x_j^+ - x_{ij}}{x_j^+ - x_j^-} \right) \quad (2.2)$$

$$R_i = \max_j \left[W_j \left(\frac{X_j^+ - X_{ij}}{X_j^+ - X_j^-} \right) \right] \quad (2.3)$$

Untuk menghitung nilai S_i dan R_i , perlu dilibatkan nilai bobot kriteria. Bobot kriteria (w_j) digunakan untuk menggambarkan tingkat kepentingan relatif.

3. Menentukan nilai VIKOR (Q_i)

Sebelum melakukan perhitungan nilai VIKOR, kita memerlukan nilai S_i *Min*, S_i *Max*, R_i *Max*, dan v yang merupakan bobot strategi untuk kriteria mayoritas atau utilitas kelompok maksimum, dengan nilai v yang ditetapkan dalam hal ini adalah 0.5.

$$Q_i = \left[\frac{(S_i - S^*)}{(S^- - S^*)} \right] v + \left[\frac{(R_i + R^+)}{(R^- - R^+)} \right] (1 - v) \quad (2.4)$$

4. Menghitung solusi kompromi alternatif peringkat terbaik

Solusi kompromi peringkat terbaik berdasarkan dengan nilai Q minimum menjadi peringkat terbaik.

$$\begin{aligned} Q(A^{(2)}) - Q(A^{(1)}) &\geq DQ \\ DQ &= 1/(m - 1) \end{aligned} \quad (2.5)$$

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Analisis dan Perancangan *Simulation Game*

Pada bab ini akan menjelaskan terkait tahapan penting dalam pengembangan game edukasi berbasis *simulation game* dengan integrasi metode *VIšekriterijumsko KOmpromisno Rangiranje (VIKOR)* dalam menentukan model vegetasi yang efektif dalam mengatasi UHI. Analisis yang mendalam terkait elemen-elemen penting dalam permainan dan perancangan strategi dengan metode VIKOR akan dikaji dalam tahapan ini.

3.1.1 Analisis *Simulation Game*

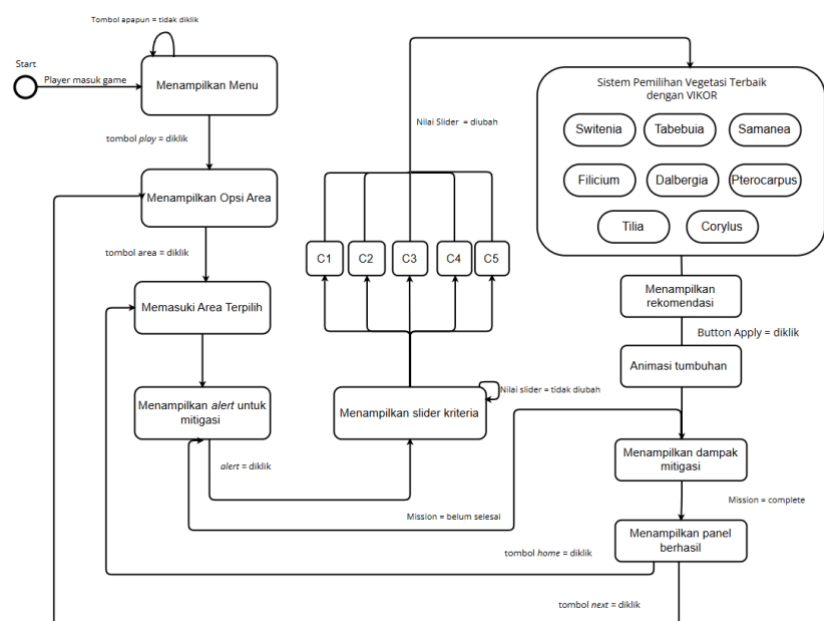
Game “Green Scape” merupakan *game* simulasi tiga dimensi dengan tujuan utama memberi rekomendasi terkait penentuan vegetasi yang tepat dan efektif dalam mengatasi permasalahan UHI. Dalam permainan ini, pengguna dapat memasukkan parameter – parameter penentuan vegetasi seperti penurunan suhu, laju evapotranspirasi, luas lahan, tingkat perawatan serta estetika. Sistem dalam permainan akan memberikan penentuan vegetasi yang efektif dan tepat sesuai dengan kriteria yang sudah diinputkan. Sistem penentuan vegetasi akan memberikan situasi atau kriteria sesuai dengan lingkungan yang diinginkan.

Solusi dalam simulasi ini berupa rekomendasi vegetasi yang efektif, berdasarkan perhitungan dengan metode VIKOR untuk membantu pemain memilih vegetasi optimal dengan mempertimbangkan berbagai faktor secara simultan. Dalam permainan, kondisi cuaca dan suhu berubah seiring waktu, dan efek vegetasi

terhadap lingkungan perumahan akan ditampilkan melalui indikator visual, seperti grafik penurunan suhu dan perubahan iklim mikro.

3.1.2 Percancangan *Simulation Game* Menggunakan FSM

Finite State Machine (FSM) adalah model yang digunakan untuk merepresentasikan dan mengendalikan sistem yang memiliki sejumlah keadaan terbatas. FSM terdiri dari sekumpulan keadaan (*state*), sekumpulan simbol masukan (*input*), sekumpulan simbol keluaran (*output*), serta sekumpulan transisi (*transition*). Transisi ini menentukan bagaimana sistem bergerak dari satu keadaan ke keadaan lainnya berdasarkan simbol masukan yang diterima (Ahmed et al., 2016).



Gambar 3. 1 *Finite State Machine*

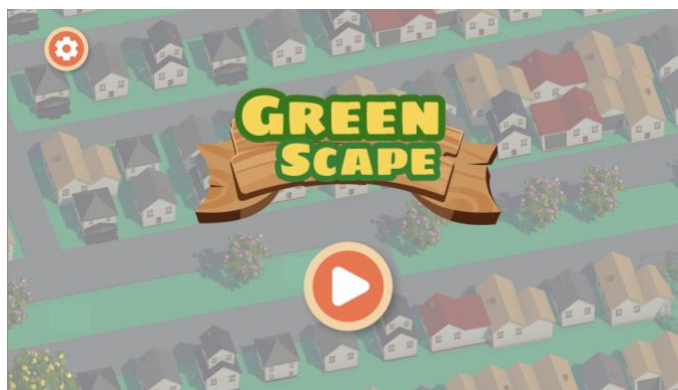
Perancangan FSM ini bertujuan untuk menggambarkan cara kerja sistem dan bagaimana sistem tersebut dapat berkontribusi dalam memecahkan masalah. Berikut adalah *Finite State Machine* yang dirancang oleh peneliti untuk

mengimplementasikan sistem rekomendasi dalam game “*Green Scape*” dengan menggunakan metode VIKOR.

Finite State Machine (FSM) pada game “*Green Scape*” menggambarkan alur proses dari awal permainan hingga pemberian rekomendasi vegetasi berdasarkan metode VIKOR seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1. Pada awal permainan, pengguna dihadapkan dengan *Simulation Game Menu* yang memungkinkan mereka untuk memulai permainan atau keluar. Jika pemain memilih untuk memulai, mereka diarahkan ke layar Slider Kriteria untuk memasukkan parameter-parameter seperti penurunan suhu, laju evapotranspirasi, luas lahan, tingkat perawatan, dan estetika. Setelah kriteria dimasukkan, sistem menyimpan data tersebut dan melakukan perhitungan VIKOR untuk menentukan solusi vegetasi yang paling efektif berdasarkan input kriteria tersebut.

3.1.3 Perancangan Antarmuka *Simulation Game*

1. Tampilan Awal



Gambar 3. 2 Tampilan Awal Game

Pada gambar 3.2 merupakan tampilan tampilan visual pertama kali ketika pemain membuka simulasi “*Green Scape*”. Pada tampilan ini terdapat

button play untuk pemain memulai permainan. Kemudian terdapat button setting.

2. Pemilihan Area



Gambar 3. 3 Tampilan Pemilihan Area

Setelah menekan tombol play maka pemain akan di arahkan pada tampilan “*Select Area*” sesuai yang ditunjukkan pada gambar 3.3. Pada antarmuka ini pemain dapat memilih wilayah perumahan yang telah disediakan, untuk menyelesaikan misi mengurangi UHI dengan penentuan tanaman vegetasi. Terdapat 4 wilayah perumahan yang dijadikan sebagai visualisasi wilayah dengan UHI tinggi di Kota Malang. P1 mewakili wilayah perumahan dari Jl Titan Asri - Jl Tita Raya - Jl Sulfat Agung - Jl Simpang Sulfat Utara. Sedangkan P2 mewakili wilayah Perum Joyogrand - Jl Jerusalem - Jl Jeddah - Jl Chili - Jl Halmahera - Jl Terusan Joyo Taman Sari. Kemudian untuk P3 mewakili wilayah perumahan dari Jl Danau Panai - Jl Danau Tigi - Jl Danau Sentani Raya. Terakhir untuk P4 mewakili wilayah perumahan dari Jl Ikan Nus 1 - Jl Ikan Layur - Jl Ikan Paus - Jl Taman Borobudhur Agung.

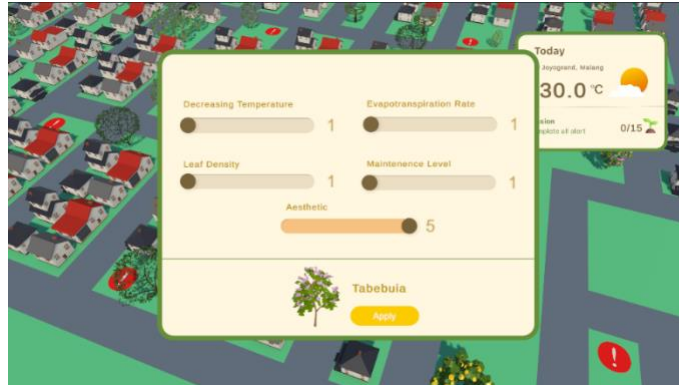
3. Tampilan Wilayah Perumahan



Gambar 3. 4 Tampilan Wilayah Perumahan

Pada layar pembuka simulasi, pemain diperkenalkan dengan visualisasi perumahan yang menjadi fokus simulasi sesuai pada gambar 3.4 dengan default suhu tertinggi di Kota Malang. Pada tahap ini, mereka dapat mengakses informasi penting mengenai kondisi lingkungan perumahan tersebut, seperti suhu pada wilayah tersebut. Tidak hanya itu, pada tampilan menampilkan tanda alert yang berperan menjadi misi untuk ditanami pohon sebagai bentuk pengurangan UHI di wilayah tersebut. Dalam tampilan tersebut terdapat alert yang berjumlah 15, sehingga pemain harus menyelesaikan 15 alert tersebut dan apabila dapat menyelesaikan alert yang telah tersedia maka pemain dapat berpindah ke wilayah berikutnya.

4. Slider Kriteria



Gambar 3. 5 Tampilan Slider Kriteria

Untuk memilih vegetasi yang paling tepat dan efektif dalam mengatasi Urban Heat Island (UHI), pemain diarahkan menuju antarmuka slider kriteria sesuai pada gambar 3.5. Ketika alert diklik, maka akan muncul tampilan UI Slider untuk mendapatkan rekomendasi pohon yang tepat sesuai dengan preferensi pemain. Pemain dapat menetapkan nilai prioritas untuk berbagai kriteria yang berpengaruh terhadap kondisi lingkungan, seperti Penurunan Suhu, Laju Evapotranspirasi, Kepadatan Daun, Tingkat Perawatan dan Estetika. Dengan menyesuaikan nilai pada setiap slider, pemain dapat secara aktif mengontrol bobot kepentingan dari masing-masing kriteria, yang pada akhirnya akan membantu sistem dalam memberikan rekomendasi vegetasi yang paling optimal dan sesuai dengan kebutuhan spesifik lingkungan perumahan yang sedang disimulasikan.

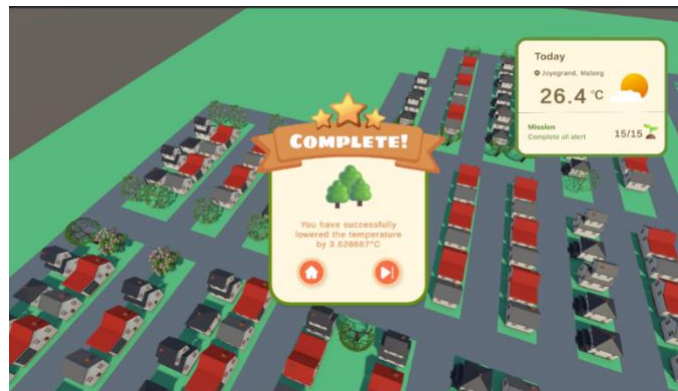
5. Tampilan Rekomendasi



Gambar 3. 6 Tampilan Implementasi Rekomendasi

Tampilan game pada gambar 3.6 menyajikan hasil rekomendasi yang dihasilkan berdasarkan kriteria-kriteria yang sebelumnya telah ditetapkan oleh pemain melalui antarmuka slider. Setelah mendapatkan rekomendasi dari inputan slider, maka tanaman akan diaplikasikan pada lahan kosong berupa alert sebelumnya. Dari simulasi ini maka pemain akan mengetahui terkait tanaman yang dapat mengurangi dampak UHI dengan beberapa kriteria yang telah diinputkan, namun dalam simulasi ini belum mengimplementasikan terkait luas lahan yang dibutuhkan untuk penanaman.

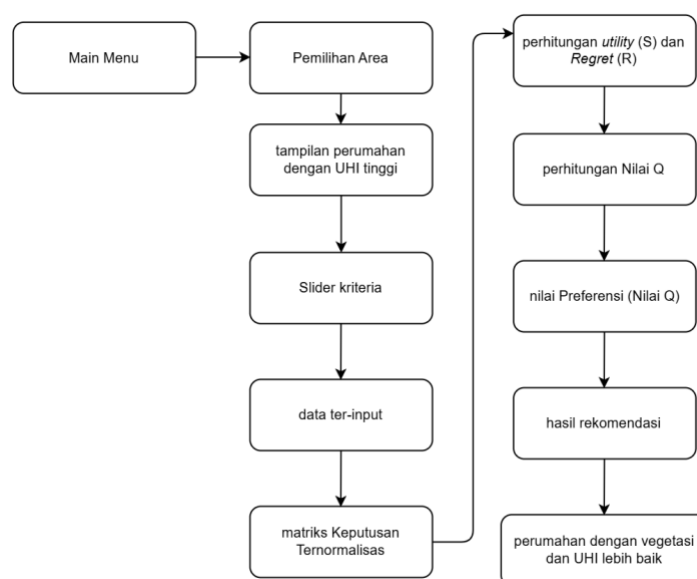
6. Tampilan *Mission Complete*



Gambar 3. 7 Tampilan *Mission Complete*

Ketika pemain telah berhasil menyelesaikan misi untuk menanam pohon maka akan muncul tampilan tampilan “*Complete*” seperti pada gambar 3.7 di atas. Pada menu tersebut, pemain dapat memilih untuk melanjutkan pada level atau wilayah berikutnya untuk menyelesaikan misi selanjutnya atau dapat mengklik *button home* untuk kembali pada menu awal.

3.1.4 Desain Sistem



Gambar 3. 8 Diagram Sistem *Green Scape*

Pada gambar 3.7 menampilkan diagram blok sistem metode VIKOR. Tahap pertama adalah mengumpulkan data perumahan dengan UHI tinggi dan menentukan kriteria evaluasi menggunakan slider yang disesuaikan oleh pengguna untuk memberikan bobot pada setiap kriteria. Setelah data ter-input, sistem akan menghitung matriks keputusan yang telah dinormalisasi, di mana nilai-nilai dalam matriks disesuaikan agar dapat dibandingkan secara langsung.

Langkah berikutnya adalah menghitung nilai utilitas (S) dan nilai penyesalan (regret, R) untuk setiap alternatif. Selanjutnya, nilai kompromi (nilai Q) dihitung berdasarkan kombinasi antara nilai utilitas dan penyesalan, di mana sistem memberikan keseimbangan antara keduanya. Setelah nilai Q diperoleh, sistem akan menghasilkan nilai preferensi dengan mengurutkan alternatif berdasarkan nilai Q terkecil.

3.2 Rancangan Perhitungan VIKOR

Untuk menghitung anjuran penentuan vegetasi dengan menggunakan metode VIKOR diperlukan data alternatif dan kriteria yang akan digunakan sebagai acuan dalam penentuan jenis vegetasi.

3.2.1 Alternatif

Data alternatif adalah data yang dapat dipilih dalam pengambilan keputusan. Dalam *game* ini, data alternatif merupakan jenis tanaman vegetasi dengan karakteristik yang berbeda-beda.

Tabel 3. 1 Alternatif

Alternatif	Keterangan
A1	<i>Swietenia macrophylla</i>
A2	<i>Tabebuia rosea</i>
A3	<i>Samanea saman</i>
A4	<i>Filicium decipiens</i>
A5	<i>Dalbergia oliveri</i>
A6	<i>Pterocarpus indicus</i>
A7	<i>Tillia</i>
A8	<i>Corylus</i>

3.2.2 Kriteria

Kriteria adalah faktor-faktor yang digunakan untuk menilai alternatif-alternatif yang ada. Kriteria berfungsi untuk membantu pengambil keputusan dalam memilih alternatif solusi yang terbaik. Dengan adanya kriteria, pengambil keputusan dapat membandingkan alternatif-alternatif solusi secara objektif dan sistematis. Berikut tabel 3.2 menunjukkan kriteria pada setiap tanaman vegetasi dalam game ini.

Tabel 3. 2 Kriteria

Kriteria	Nama Kriteria	Jenis Kriteria
C1	Penurunan Suhu	Benefit
C2	Laju Evapotranspirasi	Benefit
C3	Kepadatan Daun	Benefit
C4	Tingkat Perawatan	Cost
C5	Estetika	Benefit

Pemilihan jenis kriteria ini didasarkan pada beberapa hal berikut:

1. Penurunan Suhu

Penurunan suhu adalah kriteria utama karena vegetasi dapat mendinginkan lingkungan melalui evapotranspirasi dan pemberian naungan. Studi menunjukkan bahwa green infrastructure, seperti taman kota dan atap hijau, mampu menurunkan suhu hingga 9°C pada permukaan puncak lingkungan perkotaan (Wong et al., 2021).

2. Laju Evapotranspirasi

Laju evapotranspirasi, sebagai kriteria kedua, mendukung efek pendinginan ini karena tanaman dengan laju evapotranspirasi tinggi melepaskan lebih banyak uap air ke udara, sehingga efektif dalam menurunkan suhu lingkungan (Ferrini et al., 2020).

3. Kepadatan Daun

Kepadatan daun berperan penting dalam memberikan naungan dan mengurangi radiasi matahari langsung. Tanaman dengan daun lebat dapat meningkatkan efisiensi pendinginan melalui reduksi radiasi termal, seperti yang didokumentasikan dalam penelitian yang menyoroti efek positif dari kepadatan daun terhadap kenyamanan termal di area urban (Keshani & Jayasinghe, 2019).

4. Tingkat Perawatan

Tingkat perawatan sebagai kriteria keempat mempertimbangkan aspek biaya dan keberlanjutan, karena tanaman dengan kebutuhan perawatan rendah lebih sesuai untuk pengelolaan di wilayah perkotaan dengan sumber daya yang terbatas. Penelitian menunjukkan bahwa jenis tanaman dengan perawatan minimal lebih praktis dan ekonomis untuk diaplikasikan secara luas di lingkungan perkotaan (Barwise & Kumar, 2020).

5. Estetika

Aspek estetika tidak hanya meningkatkan penerimaan masyarakat terhadap program penghijauan tetapi juga memberikan manfaat sosial dan psikologis.

Ruang hijau dengan estetika tinggi terbukti meningkatkan kenyamanan psikologis masyarakat dan mendukung keberlanjutan kota (Taleghani, 2018).

Setelah penetapan data kriteria, kemudian dilakukan pembobotan menggunakan metode ROC (*Receiver Operating Characteristic*). Metode ROC adalah teknik yang digunakan untuk menilai seberapa baik suatu model dalam membedakan antara dua pilihan, misalnya antara yang baik dan yang buruk. Dalam konteks pembobotan kriteria, metode ini membantu menentukan seberapa penting masing-masing kriteria dengan cara membandingkan hasil yang positif dan negatif

Penurunan suhu (C1) adalah prioritas tertinggi karena kemampuan vegetasi dalam menurunkan suhu secara langsung berdampak besar pada mitigasi Urban Heat Island (UHI). Laju evapotranspirasi (C2) berada di prioritas kedua karena proses ini mendukung pendinginan alami melalui penguapan air, meskipun dampaknya lebih lambat dibandingkan dengan penurunan suhu langsung. Kepadatan daun (C3) menempati prioritas ketiga karena vegetasi yang memiliki daun lebat mampu memberikan naungan yang membantu mengurangi panas permukaan. Tingkat perawatan (C4) adalah kriteria cost yang memiliki prioritas lebih rendah, karena meskipun penting untuk keberlanjutan, tingginya tingkat perawatan tidak diinginkan. Estetika (C5) menjadi kriteria dengan prioritas terendah karena meskipun penting untuk menciptakan lingkungan yang menarik, dampaknya terhadap UHI tidak sebesar kriteria lainnya.

Tabel 3. 3 Perhitungan Pembobotan

Kode Kriteria	Nama Kriteria	ROC	Hasil
C1	Penurunan Suhu	$(1+1/2+1/3+1/4+1/5)/5$	0,4567
C2	Laju Evapotranspirasi	$(1/2+1/3+1/4+1/5)/5$	0,2778
C3	Kepadatan Daun	$(1/3+1/4+1/5)/5$	0,1556

Kode Kriteria	Nama Kriteria	ROC	Hasil
C4	Tingkat Perawatan	$(1/4+1/5)/5$	0,09
C5	Estetika	$(1/5)/5$	0,04

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

Tabel 3. 4 Ketentuan Nilai Kriteria

Kriteria	Subkriteria	Nilai
Penurunan Suhu	$<1^{\circ}\text{C}$	1
	$1-2^{\circ}\text{C}$	2
	$2-3^{\circ}\text{C}$	3
	$3-4^{\circ}\text{C}$	4
	$<4^{\circ}\text{C}$	5
Laju Evapotranspirasi	$< 50 \text{ mm/tahun}$	1
	$50-100 \text{ mm/tahun}$	2
	$100-200 \text{ mm/tahun}$	3
	$200-300 \text{ mm/tahun}$	4
	$>300 \text{ mm/tahun}$	5
Kepadatan Daun	$< 0,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$	1
	$0,5 - 1 \text{ m}^2/\text{m}^3$	2
	$1 - 2 \text{ m}^2/\text{m}^3$	3
	$2 - 2,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$	4
	$>2,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$	5
Tingkat Perawatan	Sangat Jarang	1
	Jarang	2
	Rutin	3
	Sering	4
	Sangat Intensif	5
Estetika	Sangat Kurang Menarik	1
	Kurang Menarik	2
	Cukup Menarik	3
	Menarik	4
	Sangat Menarik	5

Tabel 3.4 menyajikan ketentuan nilai kriteria yang digunakan dalam penentuan jenis vegetasi. Kriteria ini mencakup faktor-faktor penting yang berpengaruh, seperti penurunan suhu yang diharapkan, laju evapotranspirasi, biaya implementasi dan pemeliharaan, serta estetika. Setiap kriteria memiliki subkriteria

yang lebih rinci, di mana setiap subkriteria diberikan skala penilaian untuk mengukur seberapa besar pengaruhnya dalam proses penentuan vegetasi.

3.2.3 Matriks Keputusan

Berdasarkan skala penilaian terhadap pentingnya setiap kriteria dapat ditentukan matriks keputusan untuk setiap alternatif. Matriks ini digunakan untuk mengevaluasi setiap alternatif berdasarkan kriteria yang telah ditentukan, lalu memberikan penilaian menggunakan skala tertentu. Tabel 3.5 menampilkan matriks keputusan untuk setiap alternatif vegetasi pohon dalam *game "Green Scape"*.

Tabel 3. 5 Matriks Keputusan

	C1	C2	C3	C4	C5
A1	4	3	4	4	3
A2	3	3	3	2	5
A3	5	4	5	3	3
A4	2	2	3	2	3
A5	3	3	3	2	3
A6	3	4	3	3	4
A7	3	4	3	3	4
A8	2	2	3	2	2
Max	5	4	5	4	5
Min	2	2	3	2	2

3.2.4 Normalisasi Matriks Keputusan

Setelah nilai matriks keputusan diperoleh, Persamaan 2.1 digunakan untuk menghitung nilai normalisasi matriks keputusan. Nilai normalisasi ditampilkan dalam Tabel 3.6.

Tabel 3. 6 Normalisasi matriks keputusan metode VIKOR

	C1	C2	C3	C4	C5
A1	0,333333333	0,5	0,5	1	0,666666667
A2	0,666666667	0,5	1	0	0
A3	0	0	0	0,5	0,666666667
A4	1	1	1	0	0,666666667
A5	0,666666667	0,5	1	0	0,666666667
A6	0,666666667	0	1	0,5	0,333333333

	C1	C2	C3	C4	C5
A7	0,666666667	0	1	0,5	0,333333333
A8	1	1	1	0	1

3.2.5 Menghitung Hasil Normalisasi Terbobot

Setelah menghitung normalisasi kriteria pada setiap alternatif dilanjutkan dengan mengkalikan tiap hasil normalisasi dengan bobot kriteria dengan Persamaan 3.1. Sehingga mendapatkan hasil seperti pada Tabel 3.7

$$F_{ij}^* = W_j \cdot R_{ij} \quad (3.1)$$

Tabel 3. 7 Normalisasi Terbobot

	C1	C2	C3	C4	C5
A1	0,152222222	0,128333333	0,078333333	0,09	0,026666667
A2	0,304444444	0,128333333	0,156666667	0	0
A3	0	0	0	0,045	0,026666667
A4	0,456666667	0,256666667	0,156666667	0	0,026666667
A5	0,304444444	0,128333333	0,156666667	0	0,026666667
A6	0,304444444	0	0,156666667	0,045	0,013333333
A7	0,304444444	0	0,156666667	0,045	0,013333333
A8	0,456666667	0,256666667	0,156666667	0	0,04

3.2.6 Menentukan Nilai S dan R

3.2.6.1 Nilai *Utility* (S)

Nilai *utility* (S) didapatkan dengan menjumlah hasil perkalian bobot dengan hasil normalisasi matrik seperti pada Persamaan 2.3, sehingga mendapat hasil sesuai pada pemaparan Tabel 3.8.

Tabel 3. 8 Nilai Utility (S)

Nilai Utility (S)	
Alternatif	S
A1	0,475555556
A2	0,589444444
A3	0,071666667
A4	0,896666667
A5	0,616111111
A6	0,519444444

Nilai Utility (S)	
Alternatif	S
A7	0,519444444
A8	0,91
Min	0,071666667
Max	0,91

3.2.6.2 Nilai *Regret* (R)

Nilai *regret* (R_i) dilakukan dengan mencari nilai maksimal dari perkalian bobot dengan hasil normalisasi dapat dilakukan untuk mencari nilai R sesuai Persamaan 2.4. Pada Tabel 3.9 nilai *regret* sebagai berikut.

Tabel 3. 9 Nilai *Regret* (R)

Nilai Regret (R)	
Alternatif	R
A1	0,152222222
A2	0,304444444
A3	0,045
A4	0,456666667
A5	0,304444444
A6	0,304444444
A7	0,304444444
A8	0,456666667
Min	0,045
Max	0,456666667

3.2.7 Menentukan Nilai VIKOR

Setelah mendapatkan nilai S dan R, selanjutnya menentukan nilai VIKOR. Nilai VIKOR (Q) ini menggabungkan penilaian terhadap dua komponen: manfaat terbaik (S_i) dan penyesalan terkecil (R_i) sesuai Persamaan 2.4. Semakin kecil nilai Q, semakin mendekati solusi ideal suatu alternatif.

Tabel 3. 10 Nilai akhir VIKOR dan Ranking

Nilai VIKOR (Q)		
Alternatif	Q	Ranking
A1	0,37111743	2
A2	0,62392849	5
A3	0	1
A4	0,99204771	7
A5	0,63983307	6

Nilai VIKOR (Q)		
Alternatif	Q	Ranking
A6	0,58217899	3
A7	0,58217899	3
A8	1	8

Dari output yang diberikan pada Tabel 3.10, didapatkan alternatif 3 memperoleh peringkat pertama dengan hasil nilai terendah dibandingkan yang lain karena perankingan pada metode VIKOR bersifat ascending atau dari yang paling kecil.

3.3 Desain Pengujian Sistem

3.3.1 Confusion Matrix

Confusion matrix sendiri merupakan metode yang biasa digunakan sebagai perhitungan pada konsep data mining dengan tujuan untuk mencari akurasi. Evaluasi metode *confusion matrix* ini menghasilkan 4 nilai yaitu *accuracy*, *precision*, *F-measure* dan *recall* (Han et al., 2006).

Menurut Fitri et al. (2020) metode *confusion matrix* dapat dimodelkan seperti pada Tabel 3.12

Tabel 3. 11 Model *Confusion Matrix*

	Actual: Pos	Actual: Neg
Predicted: Pos	True Positives	False Positives
Predicted: Neg	False Negativess	True Negatives

Keterangan:

True Positives (TP) : adalah nilai total dari prediksi positif yang benar
False Positives (FP) : adalah nilai total dari prediksi positif yang salah
False Negatives (FN) : adalah nilai total dari prediksi negatif yang salah
True Negatives (TN) : adalah nilai total dari prediksi negatif yang benar

Dari Tabel 3.12 menghasilkan perhitungan dari *accuracy*, *precision*, *recall* dan *F-measure* sebagai berikut:

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN} \times 100\% \quad (3.1)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \times 100\% \quad (3.2)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \times 100\% \quad (3.3)$$

$$F\text{-measure} = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precision + Recall} \times 100\% \quad (3.4)$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Sistem

Pada simulasi penentuan jenis vegetasi yaitu “*Green Scape*” dilakukan pengimplementasian sistem menggunakan metode VIKOR. Dalam game ini, pemain akan menyelesaikan misi berupa *alert* sebagai tanda kawasan tersebut harus ditanami tanaman sesuai dengan preferensi pemain. Pemain memiliki kebebasan dalam menentukan bobot untuk setiap kriteria yang ditampilkan pada slider sesuai dengan preferensinya, kemudian dilakukan analisis dan evaluasi menggunakan metode VIKOR untuk mendapat jenis tanaman yang sesuai.

4.1.1 Implementasi Perhitungan Metode VIKOR

a. Inisialisasi Matriks Keputusan

Pada tahap awal implementasi metode VIKOR adalah mendefinisikan alternatif dan kriteria sebagai matriks keputusan, yang digunakan untuk menghitung dan menentukan tanaman terbaik berdasarkan preferensi pemain.

Pseudocode 4. 1 Inisialisasi Matriks Keputusan

```
BEGIN

    // Define a list to store alternatives
    CREATE alternatives AS EMPTY LIST

    // Add alternatives to the list
    ADD Alternative("Switenia", [4.0, 3.0, 4.0, 4.0, 3.0])
TO alternatives
    ADD Alternative("Tabebuia", [3.0, 3.0, 3.0, 2.0, 5.0])
TO alternatives
    ADD Alternative("Samanea", [5.0, 4.0, 5.0, 3.0, 3.0])
TO alternatives
    ADD Alternative("Filicium", [2.0, 2.0, 3.0, 2.0, 3.0])
TO alternatives
```

```

    ADD Alternative("Dalbergia", [3.0, 3.0, 3.0, 2.0,
3.0]) TO alternatives
    ADD Alternative("Pterocarpus", [3.0, 4.0, 3.0, 3.0,
4.0]) TO alternatives
    ADD Alternative("Tilia", [3.0, 4.0, 3.0, 3.0, 3.0]) TO
alternatives
    ADD Alternative("Corylus", [2.0, 2.0, 3.0, 2.0, 3.0])
TO alternatives
END

```

Setiap alternatif terdiri dari lima nilai yang merepresentasikan kriteria yang berbeda (C1 hingga C5). Sebagai contoh, alternatif "*Swietenia*" memiliki nilai {4.0, 3.0, 4.0, 3.0, 4.0}, yang menunjukkan skor untuk setiap kriteria yang terkait. Nilai-nilai ini kemudian dimasukkan ke dalam Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Matriks Keputusan

Alternatif	C1	C2	C3	C4	C5
<i>Swietenia Macrophylla</i>	4	3	4	4	3
<i>Tabebuia Rosea</i>	3	3	3	2	5
<i>Samanea Saman</i>	5	4	5	3	3
<i>Filicium Decipiens</i>	2	2	3	2	3
<i>Dalbergia Oliveri</i>	3	3	3	2	3
<i>Pterocarpus Indicus</i>	3	4	3	3	4
<i>Tillia</i>	3	4	3	3	4
<i>Corylus</i>	2	2	3	2	2

b. Normalisasi Matriks Terbobot

Proses normalisasi dilakukan dengan mengurangi nilai kriteria alternatif dengan nilai maksimum, kemudian membaginya dengan selisih antara nilai maksimum dan minimum. Setelah dinormalisasi, nilai-nilai tersebut dikalikan dengan bobot kriteria yang mencerminkan tingkat kepentingan setiap kriteria seperti yang tertera pada *Pseudocode* 4.2. Hasilnya adalah matriks keputusan yang berisi nilai-nilai yang telah dinormalisasi dan diberi

bobot, yang digunakan dalam perhitungan VIKOR untuk menentukan alternatif terbaik.

Pseudocode 4.2 Normalisasi Matriks Keputusan

```

FUNCTION NormalizeMatrix(alternatives, weights)
  DECLARE matrix AS List OF List OF Float
  FOR i FROM 0 TO LENGTH(alternatives) - 1 DO
    ADD new List OF Float TO matrix
    FOR j FROM 0 TO LENGTH(weights) - 1 DO
      DECLARE maxValue AS Float
      DECLARE minValue AS Float
      maxValue = MAX(alternatives, FUNCTION(alt)
RETURN alt.criteria[j])
      minValue = MIN(alternatives, FUNCTION(alt)
RETURN alt.criteria[j])
      DECLARE normalizedValue AS Float
      normalizedValue = (maxValue -
alternatives[i].criteria[j]) / (maxValue - minValue)
      ADD normalizedValue * weights[j] TO matrix[i]
    END FOR
  END FOR
  RETURN matrix
END FUNCTION

```

Berikut merupakan hasil dari normalisasi matriks keputusan yang tertera pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Normalisasi Matriks Keputusan

	C1	C2	C3	C4	C5
A1	0,333333333	0,5	0,5	1	0,666666667
A2	0,666666667	0,5	1	0	0
A3	0	0	0	0,5	0,666666667
A4	1	1	1	0	0,666666667
A5	0,666666667	0,5	1	0	0,666666667
A6	0,666666667	0	1	0,5	0,333333333
A7	0,666666667	0	1	0,5	0,333333333
A8	1	1	1	0	1

Setelah memperoleh hasil normalisasi, maka akan dikalikan dengan bobt kriteria untuk menghasilkan matriks normalisasi terbobot. Hal ini sesuai pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4. 3 Normalisasi Terbobot

	C1	C2	C3	C4	C5
A1	0,152222222	0,128333333	0,078333333	0,09	0,026666667

	C1	C2	C3	C4	C5
A2	0,304444444	0,128333333	0,156666667	0	0
A3	0	0	0	0,045	0,026666667
A4	0,456666667	0,256666667	0,156666667	0	0,026666667
A5	0,304444444	0,128333333	0,156666667	0	0,026666667
A6	0,304444444	0	0,156666667	0,045	0,013333333
A7	0,304444444	0	0,156666667	0,045	0,013333333
A8	0,456666667	0,256666667	0,156666667	0	0,04

c. Perhitungan Nilai *Utility (S)* dan *Regrat (R)*

Setelah melalui proses normalisasi, maka selanjutnya adalah menghitung nilai S dan R. Nilai S dihitung sebagai jumlah dari nilai-nilai yang dinormalisasi untuk setiap kriteria. Sementara itu, R dihitung sebagai nilai maksimum dari setiap kriteria untuk alternatif tersebut.

Pseudocode 4.3 Perhitungan Nilai S dan R

```
// Initialize lists for S and R
S = new List<float>()
R = new List<float>()

// Loop through each alternative
for i from 0 to alternatives.Count - 1 do
    // Calculate the sum and max of the normalized matrix
    for the current alternative
        sValue = Sum(normalizedMatrix[i])
        rValue = Max(normalizedMatrix[i])

        // Add the calculated values to the respective lists
        S.Add(sValue)
        R.Add(rValue)

    // Debug log for values of S and R
    Debug.Log("Alternative " + alternatives[i].name + ": S
= " + sValue + ", R = " + rValue)
end for

// Calculate the minimum and maximum values for S and R
Smin = Min(S)
Smax = Max(S)
Rmin = Min(R)
Rmax = Max(R)
```

Berikut hasil perhitungan nilai S dan R seperti yang disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Perhitungan S dan R

Alternatif	Utility (S)	Regret (R)
A1	0,475555556	0,152222222
A2	0,589444444	0,304444444
A3	0,071666667	0,045
A4	0,896666667	0,456666667
A5	0,616111111	0,304444444
A6	0,519444444	0,304444444
A7	0,519444444	0,304444444
A8	0,91	0,456666667
Min	0,071666667	0,045
Max	0,91	0,456666667

d. Perhitungan Nilai Q

Perhitungan nilai Q untuk setiap alternatif dilakukan dengan menggabungkan nilai S dan R menggunakan rumus yang memberi bobot yang sama (0.5) pada keduanya.

Pseudocode 4. 4 Perhitungan Nilai Q

```

FOR i FROM 0 TO alternatives.Count - 1 DO
  Si = S[i]
  Ri = R[i]
  Q_i = 0.5 * ((Si - Smin) / (Smax - Smin)) + 0.5 * ((Ri - Rmin) / (Rmax - Rmin))
  Q.ADD(Q_i)

  // Debug log for Q value per alternative
  Debug.Log("Alternative " + alternatives[i].name + " -> Q: " + Q_i)
END FOR

```

Perhitungan ini mengukur kedekatan alternatif dengan solusi ideal. Setelah nilai Q dihitung, alternatif-alternatif diurutkan berdasarkan nilai Q terkecil, di mana alternatif dengan nilai Q paling rendah dianggap sebagai yang terbaik. Hasil perhitungan seperti yang tertera pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4. 5 Nilai Q

Kode Alternatif	Nama Alternatif	Value	Ranking
A1	<i>Swietenia Macrophylla</i>	0,37111743	2
A2	<i>Tabebuia Rosea</i>	0,62392849	5
A3	<i>Samanea Saman</i>	0	1
A4	<i>Filicium Decipiens</i>	0,99204771	7

Kode Alternatif	Nama Alternatif	Value	Ranking
A5	<i>Dalbergia Oliveri</i>	0,63983307	6
A6	<i>Pterocarpus Indicus</i>	0,58217899	3
A7	<i>Tillia</i>	0,58217899	3
A8	<i>Corylus</i>	1	8

Berdasarkan hasil perhitungan yang tertera pada Tabel 4.5, maka alternatif dengan nilai Q terendah dan menjadi alternatif terbaik adalah pohon *Samanea Saman*.

4.2 Pengujian Sistem

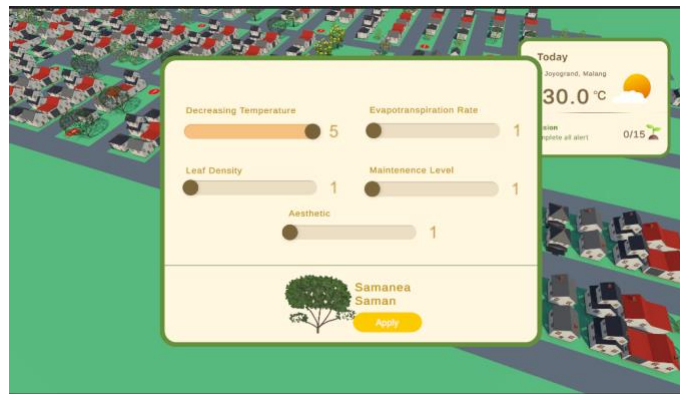
Uji coba sistem dilakukan setelah seluruh kode berhasil diimplementasikan.

Pada tahap ini, game diuji dan hasil dari pengujian tersebut dipresentasikan.

4.2.1 Uji Coba Hasil VIKOR Pada *Game*

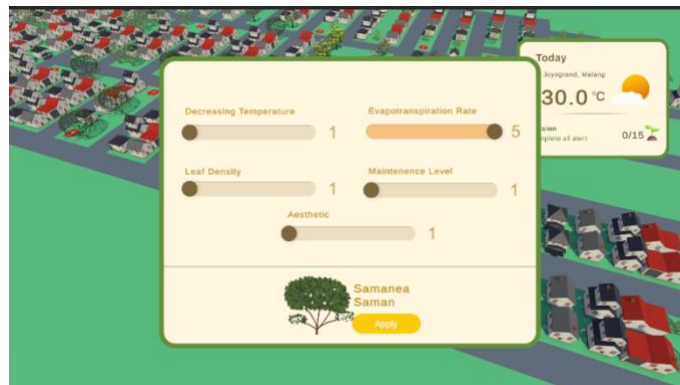
Pada tahap uji coba pemain akan menyelesaikan misi berupa alert yang akan menampilkan slider dengan lima kriteria, yaitu Penurunan Suhu, Laju Evapotranspirasi, Kepadatan Daun, Tingkat Perawatan, dan Estetika sehingga akan memberikan jenis tanaman sesuai dengan preferensi pemain. Pemberian bobot pada setiap kriteria akan memengaruhi hasil pada saat perangkingan dalam menentukan alternatif terbaik.

Ketika pemain telah menginputkan nilai pada masing-masing slider kriteria, maka secara otomatis akan memunculkan jenis tanaman yang sesuai. Kemudian pemain dapat menekan tombol "*Apply*". Sehingga akan terjadi proses penanaman pohon. Pemain akan terus melakukan pengisian slider sesuai dengan jumlah *alert* pada kawasan perumahan sebagai misi untuk menurunkan suhu.



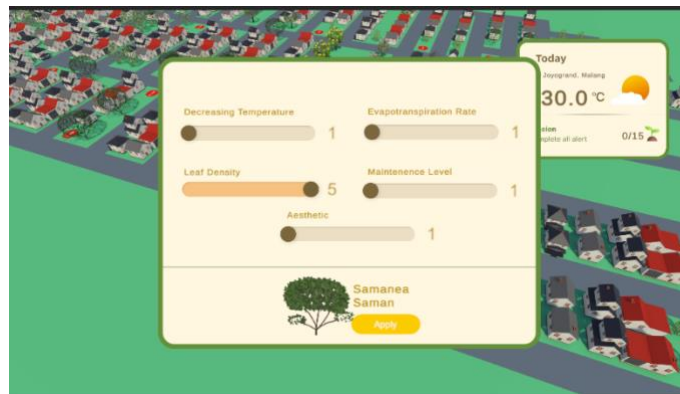
Gambar 4. 1 Uji Coba C1

Pada Gambar 4.1 nilai kriteria C1 (Penurunan Suhu) diberi nilai maksimal yaitu 5, sedangkan kriteria lainnya diberi nilai 1. Hal ini membuat hasil akhir yang didapatkan akan lebih mengutamakan pada pengaruh yang diberikan oleh C1 (Penurunan Suhu). Sehingga alternatif pohon yang diberikan adalah *Samanea Saman* karena unggul pada kriteria C1.



Gambar 4. 2 Uji Coba C2

Pada Gambar 4.2 uji coba kedua, nilai kriteria C2 (Laju Evapotranspirasi) diberi nilai maksimal yaitu 5, sedangkan kriteria lainnya diberi nilai 1. Hal ini membuat hasil akhir yang didapatkan akan lebih mengutamakan pada pengaruh yang diberikan oleh C2 (Penurunan Suhu). Sehingga alternatif pohon yang diberikan adalah *Samanea Saman*.



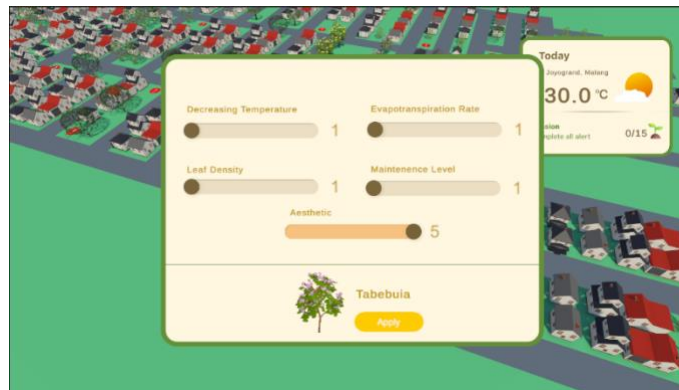
Gambar 4. 3 Uji Coba C3

Pada uji coba ketiga, nilai kriteria C3 (Kepadatan Daun) diberi nilai maksimal yaitu 5, sedangkan kriteria lainnya diberi nilai 1. Sehingga alternatif pohon yang diberikan adalah *Samanea Saman* sesuai pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 4 Uji Coba C4

Pada uji coba keempat Gambar 4.4, nilai kriteria C4 (Tingkat Perawatan) diberi nilai maksimal yaitu 5, sedangkan kriteria lainnya diberi nilai 1. Sehingga alternatif pohon yang diberikan adalah *Switenia Macrophylla*.



Gambar 4. 5 Uji Coba C5

Pada uji coba kelima Gambar 4.5, nilai kriteria C5 (Estetika) diberi nilai maksimal yaitu 5, sedangkan kriteria lainnya diberi nilai 1. Sehingga alternatif pohon yang diberikan adalah *Tabebuia*.

Dari kelima skenario uji coba yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa metode VIKOR yang diterapkan dalam game ini telah berfungsi dengan baik dalam mengidentifikasi pohon yang unggul berdasarkan kriteria yang diberi prioritas. Hasil ini juga membuktikan bahwa metode VIKOR dapat menyesuaikan hasilnya sesuai dengan perubahan bobot pada kriteria tertentu, yang menunjukkan konsistensi algoritma yang diterapkan berdasarkan matriks keputusan pada Tabel 3.5. Pendekatan ini tidak hanya memastikan akurasi perhitungan, tetapi juga memberikan pemahaman yang lebih mendalam kepada pemain mengenai bagaimana setiap jenis pohon memiliki keunggulan yang berbeda-beda sesuai dengan karakteristiknya.

4.2.2 Pengujian Confusion Matrix

Seperti yang telah dijelaskan pada bab 3 bahwasanya langkah terakhir yang perlu dilakukan adalah mengukur keakuratan dari sistem penentuan jenis tanaman

menggunakan metode VIKOR. Proses ini dilakukan dengan membandingkan data prediksi dengan data asli berdasarkan persamaan (3.1), (3.2), (3.3) dan (3.4). Sebelumnya telah dilakukan percobaan untuk mengetahui apakah sistem dapat memberikan hasil yang sesuai dan optimal, dengan hasil percobaan yang terlampir. Setelah dilakukan percobaan, maka dipaparkan seperti pada Tabel 4.6 untuk pengujian *confusion matrix*.

Tabel 4. 6 Pengujian *Confusion Matrix*

Confusion Matrix	Aktual Positif	Aktual Negatif
Prediksi Positif	47	3
Prediksi Negatif	0	0

$$Accuracy = \frac{47+0}{47+0+3+0} \times 100\% = 94,0\%$$

$$Precision = \frac{47}{47+3} \times 100\% = 94,0\%$$

$$Recall = \frac{47}{47+0} \times 100\% = 100\%$$

$$F\text{-measure} = \frac{2 \times 0,94 \times 1,0}{0,94 + 1,0} \times 100\% = 96,90\%$$

Berdasarkan hasil dari tabel *confusion matrix*, didapatkan nilai *Accuracy* sebesar 94%, yang menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan prediksi yang benar dalam 94% dari total percobaan yang dilakukan. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem secara keseluruhan bekerja dengan baik, karena sebagian besar prediksi yang dilakukan sesuai dengan data yang benar. Namun, meskipun sistem memberikan akurasi tinggi, terdapat beberapa kesalahan prediksi yang perlu diperhatikan, salah satunya pada prediksi yang terkait dengan tanaman jenis tertentu yang mungkin memiliki kesamaan karakteristik atau input yang mirip, seperti pada kasus pengklasifikasian tanaman *Filicium* menjadi *Switenia* pada data ke-23. Kesalahan ini mungkin disebabkan oleh kurangnya variasi atau representasi

data pada fitur yang digunakan, yang membuat sistem kesulitan dalam membedakan tanaman dengan karakteristik yang hampir serupa.

Untuk *Precision*, yang mengukur berapa banyak prediksi positif yang benar-benar sesuai dengan data aktual, didapatkan nilai 94%, yang berarti bahwa sebagian besar prediksi yang dibuat oleh sistem sebagai positif adalah benar. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun sistem menghasilkan beberapa kesalahan dalam prediksi, sebagian besar rekomendasi tanaman yang diberikan memang sesuai dengan data yang benar. Salah satu alasan tinggi precision ini adalah karena sistem mengutamakan penentuan tanaman dengan karakteristik yang kuat dan paling relevan, yang cenderung menghasilkan lebih banyak prediksi positif yang tepat.

Kemudian *Recall* yang bernilai 100% menunjukkan bahwa sistem berhasil mendeteksi semua data positif yang sebenarnya ada, tanpa ada yang terlewat. Ini menandakan bahwa sistem sangat efektif dalam menemukan semua jenis tanaman yang seharusnya dipilih. Salah satu alasan mengapa recall bisa mencapai 100% adalah karena sistem tidak melewatkan satupun kategori tanaman yang seharusnya diprediksi, namun hal ini juga mengindikasikan bahwa ada beberapa kasus di mana sistem lebih cenderung untuk memilih lebih banyak kategori positif, meskipun mungkin terdapat sedikit kesalahan dalam pengklasifikasian yang tepat.

Serta *F-measure* yang mencapai 96,90% memberikan gambaran seimbang antara precision dan recall, yang menunjukkan bahwa sistem tidak hanya akurat dalam membuat prediksi positif, tetapi juga mampu mendeteksi semua prediksi positif yang ada. F-measure yang tinggi ini mencerminkan keseimbangan yang baik antara menemukan semua jenis tanaman yang relevan (recall) dan memberikan

rekomendasi yang tepat (precision). Meskipun demikian, hasil uji coba juga menunjukkan beberapa kasus yang tidak berhasil dengan sempurna, seperti yang terlihat pada data ke-23, di mana sistem mengklasifikasikan jenis tanaman *Filicium* sebagai *Switenia*. Kesalahan tersebut kemungkinan besar disebabkan oleh adanya kesamaan antara fitur-fitur tanaman yang disarankan dan keterbatasan data yang digunakan dalam model.

Secara keseluruhan, meskipun sistem ini menunjukkan kinerja yang sangat baik dengan nilai akurasi, precision, recall, dan F-measure yang tinggi, masih ada beberapa variasi yang perlu diperhatikan lebih lanjut. Beberapa kasus prediksi yang tidak sesuai dapat diperbaiki atau disesuaikan lebih lanjut untuk meningkatkan kesesuaian antara hasil uji coba dan alternatif yang ada dalam matriks keputusan.

4.3 Integrasi Islam dalam Sains

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

4.3.1 *Muamalah Ma'a Allah*

Muamalah Ma'a Allah adalah hubungan manusia dengan Allah SWT, yang mencakup segala bentuk interaksi manusia dalam menjaga dan merawat alam sebagai amanah yang diberikan oleh Allah. Dalam hal ini, manusia bertanggung jawab untuk memelihara bumi dan semua yang ada di dalamnya, seperti yang tercermin dalam QS. Al-Baqarah: 164 sebagai berikut :

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمُوتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ وَالْفُلُكِ الَّتِي تَجْرَى فِي الْبَحْرِ بِمَا يَنْفَعُ النَّاسَ وَمَا أَنْزَلَ اللَّهُ مِنَ السَّمَاءِ مِنْ مَّاءٍ فَأَحْيَا بِهِ الْأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا وَبَثَّ فِيهَا مِنْ كُلِّ دَابَّةٍ وَتَصْرِيفِ الرِّيْحِ وَالسَّحَابِ الْمُسَخَّرِ بَيْنَ السَّمَاءِ وَالْأَرْضِ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ

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

Dalam tafsir Al-Wajiz surah Al Baqarah : 164 tersebut, penciptaan langit yang luas, bumi yang terbentang, pergantian malam dan siang, kapal yang berlayar, hujan yang menyuburkan bumi, beragam binatang yang tersebar, berbagai macam tumbuhan, angin yang berhembus, dan awan yang bergantung antara langit dan bumi, semua itu adalah tanda kebesaran Allah bagi mereka yang berpikir dan mengambil pelajaran (*Tafsir Wajiz Jilid I, Bagian I, 2016*). Dalam konteks game ini, tanaman yang dipilih tidak hanya memiliki manfaat dalam mengurangi suhu di area perkotaan, tetapi juga menjadi bagian dari upaya manusia untuk menjaga keseimbangan alam yang telah Allah ciptakan. Dengan mengedukasi pemain mengenai pentingnya memilih tanaman untuk mitigasi UHI, game ini membantu menciptakan kesadaran bahwa setiap keputusan yang diambil terkait alam adalah bagian dari tanggung jawab kita sebagai khalifah di bumi.

4.3.2 Muamalah ma'a al-A'lam

Penentuan jenis tanaman yang tepat untuk mereduksi suhu perkotaan dalam game ini sejalan dengan konsep Islam tentang *muamalah ma'a al-A'lam* (interaksi

dengan alam), yang menekankan pentingnya menjaga kelestarian bumi sebagai bentuk ketaatan kepada Allah SWT.

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

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

Al-Maraghi menjelaskan ayat diatas bahwa orang-orang yang telah melakukan kerusakan baik di laut dan di bumi akan diperingatkan langsung oleh Allah, dunia dengan banjir, kekeringan, kekurangan pangan, kebakaran hutan. Agar mereka kembali ke jalan yang benar dan bertaubat, tetapi setelah Allah memberikan peringatan di dunia mereka tidak menghiraukannya, maka Allah memperingatkan mereka menunggu hari pembalasan (Maraghi, 2020). Dalam game ini, para pemain diberi kesempatan untuk memperbaiki kerusakan tersebut melalui penentuan jenis tanaman yang dapat mengurangi efek UHI. Penentuan tanaman yang tepat adalah salah satu cara untuk memperbaiki kerusakan yang terjadi akibat aktivitas manusia, seperti pembangunan yang tidak memperhatikan keberlanjutan lingkungan.

4.3.3 Muamalah Ma'a An-Nas

Dalam konteks *muamalah ma'a al-Nas* (interaksi dengan sesama manusia), game ini mencerminkan ajaran Islam tentang memberi manfaat kepada sesama. Pemain yang memilih tanaman untuk mereduksi suhu perkotaan tidak hanya berkontribusi pada kelestarian lingkungan, tetapi juga meningkatkan kenyamanan masyarakat. Tanaman yang memberikan naungan dan menurunkan suhu udara membawa manfaat langsung bagi kesejahteraan umat. Selain itu, menanam pohon

dalam Islam dianggap sebagai amal jariyah, yang terus mendatangkan pahala, sebagaimana disebutkan dalam hadis Sahih Muslim. Dalam game ini, setiap pilihan tanaman yang mengurangi suhu seakan-akan menjadi amal jariyah, yang mengajarkan bahwa tindakan kecil dalam permainan dapat memberi dampak besar bagi lingkungan dan sesama.

مَا مِنْ مُسْلِمٍ يَغْرِسُ غَرْسًا، أَوْ يَزْرَعُ زَرْعًا فَيَأْكُلُ مِنْهُ طَيْرٌ أَوْ إِنْسَانٌ أَوْ بَيْمَةٌ إِلَّا كَانَ لَهُ بِهِ صَدَقَةٌ

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

Dalam konteks game ini dan fenomena Urban Heat Island (UHI), penentuan tanaman untuk mereduksi suhu perkotaan dapat dipandang sebagai tindakan menanam pohon yang memberikan manfaat ekologis, seperti penurunan suhu dan peningkatan kenyamanan lingkungan. Tindakan ini sejalan dengan ajaran Islam tentang *muamalah ma'a al-A'lam*, di mana menjaga kelestarian alam dan memberi manfaat kepada sesama merupakan amal jariyah yang mendatangkan pahala, sesuai dengan tanggung jawab manusia sebagai khalifah di bumi.

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

dalam memilih tanaman untuk mitigasi UHI adalah bagian dari amal jariyah yang bermanfaat bagi sesama dan alam.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini mengembangkan sistem penentuan jenis tanaman vegetasi yang efektif dalam mitigasi fenomena *Urban Heat Island* (UHI) di Kota Malang, dengan menggunakan metode VIKOR dalam game simulasi "Green Scape". Simulasi yang dikembangkan telah dapat menentukan jenis tanaman vegetasi berdasarkan kriteria seperti penurunan suhu, laju evapotranspirasi, kepadatan daun, tingkat perawatan, dan estetika, yang bertujuan sebagai mitigasi *Urban Heat Island* (UHI). Hasil pengujian menggunakan *confusion matrix* menunjukkan bahwa sistem ini memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam memberikan rekomendasi vegetasi yang tepat, dengan nilai accuracy sebesar 94%% Hal ini menunjukkan bahwa metode VIKOR berhasil dalam memproses kriteria-kriteria yang telah ditentukan dan menghasilkan solusi yang optimal sesuai dengan kebutuhan lingkungan yang disimulasikan. Pengujian ini juga menunjukkan kemampuan sistem dalam membandingkan berbagai alternatif secara objektif, dengan hasil yang dapat diandalkan dalam pengambilan keputusan.

5.2 Saran

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

1. Memperluas cakupan skenario dalam *game*, termasuk analisis pengaruh jenis vegetasi di berbagai zona perkotaan, serta simulasi dalam kondisi ekstrem seperti musim panas atau area dengan kepadatan bangunan yang tinggi. Hal ini akan memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang bagaimana vegetasi berfungsi dalam mengurangi dampak *Urban Heat Island* (UHI) dalam berbagai konteks.
2. Meningkatkan kualitas pengalaman pengguna, disarankan agar elemen visual dalam game ditingkatkan untuk lebih mencerminkan kondisi nyata lingkungan perkotaan. Peningkatan realisme ini tidak hanya akan memperkaya pengalaman interaktif, tetapi juga akan memperkuat elemen edukatif yang disampaikan oleh game, menjadikannya lebih relevan dengan kondisi dunia nyata.
3. Penilaian yang dilakukan dengan menggunakan *confusion matrix* sebaiknya diperluas dengan melibatkan lebih banyak responden dari berbagai latar belakang. Hal ini bertujuan untuk memperbaiki validitas hasil pengujian dan meningkatkan akurasi sistem rekomendasi vegetasi, serta memastikan bahwa game dapat mengakomodasi berbagai perspektif dan kebutuhan pengguna yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Amri, M. T. (2020). *Analisis Ruang Terbuka Hijau Di Kota Metro*. Fadhilah Zikriyyah.
- Barwise, Y., & Kumar, P. (2020). Designing vegetation barriers for urban air pollution abatement: A practical review for appropriate plant species selection. *Npj Climate and Atmospheric Science*, 3(1), 12.
- Bhuva, D. C., Prajapati, V. M., Amlani, M. H., & Tandel, M. B. (2020). *Effect of irrigation interval on growth and biomass of mahogany (Swietenia macrophylla King, Meliaceae) seedlings*.
- BPS. (2020). *Persentase Penduduk Daerah Perkotaan Hasil Proyeksi Penduduk menurut Provinsi, 2015 - 2035*. Badan Pusat Statistik. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/MTI3NiMx/persentase-penduduk-daerah-perkotaan-hasil-proyeksi-penduduk-menurut-provinsi--2015---2035.html>
- Brintnell, E., Brierley, O., Christensen, N., & Jacob, C. (2020). Balancing simulation and gameplay - applying game user research to LeukemiaSIM. *ArXiv, abs/2009.11404*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:221950790>
- Cordeiro, Y. E. M., Pinheiro, H. A., dos Santos Filho, B. G., Corrêa, S. S., e Silva, J. R. R., & Dias-Filho, M. B. (2009). Physiological and morphological responses of young mahogany (*Swietenia macrophylla* King) plants to drought. *Forest Ecology and Management*, 258(7), 1449–1455.
- Eom, S. B. (2020). *Decision Support Systems*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228637.013.1008>
- Ferrini, F., Fini, A., Mori, J., & Gori, A. (2020). Role of vegetation as a mitigating factor in the urban context. *Sustainability*, 12(10), 4247.
- Fitri, E., Lumbanraja, F. R., & Ardiansyah, A. (2020). Klasifikasi Abstrak Jurnal Komputasi Menggunakan Metode Text Mining Dan Algoritma Support Vector Machine. *Jurnal Pepadun*, 1(1), 83–88.
- Furuya, M. T. G., Furuya, D. E. G., de Oliveira, L. Y. D., da Silva, P. A., Cicerelli, R. E., Gonçalves, W. N., Junior, J. M., Osco, L. P., & Ramos, A. P. M. (2023). A machine learning approach for mapping surface urban heat island using environmental and socioeconomic variables: a case study in a medium-sized Brazilian city. *Environmental Earth Sciences*, 82(13), 325. <https://doi.org/10.1007/s12665-023-11017-8%0D>
- Gillner, S., Vogt, J., Tharang, A., Dettmann, S., & Roloff, A. (2015). Role of street trees in mitigating effects of heat and drought at highly sealed urban sites. *Landscape and Urban Planning*, 143, 33–42.

- Gunawardena, K. R., Wells, M. J., & Kershaw, T. (2017). Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of the Total Environment*, 584, 1040–1055.
- Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2006). *Data mining techniques and concepts*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann.
- Hidayat, T. N. (2024). *Anjuran pemilihan sepatu untuk karakter yang fleksibel pada game Endless Runner Lari Nusantara menggunakan metode VIKOR berfundamen gapaian pemain*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Ihsan, F., & Rosleine, D. (2020). Cooling effect to mitigate urban Heat Island by *Pterocarpus indicus*, *Swietenia macrophylla* and *Samanea saman* in Bandung, West Java Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 528(1), 012057.
- Kemenag RI. (2011). *Tumbuhan dalam Perspektif Al-Qur'an dan Sains (Tafsir Ilmi)*. Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an.
- Keshani, S. K., & Jayasinghe, G. Y. (2019). Effect of Flora Density on Thermal Comfort in Urban Parks in Tropical Region: A Review. *Proceedings of International Forestry and Environment Symposium*.
- 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.
- Litardo, J., Palme, M., Borbor-Córdova, M., Caiza, R., Macías, J., Hidalgo-León, R., & Soriano, G. (2020). Urban Heat Island intensity and buildings' energy needs in Duran, Ecuador: Simulation studies and proposal of mitigation strategies. *Sustainable Cities and Society*, 62, 102387.
- Lu, L., Weng, Q., Xiao, D., Guo, H., Li, Q., & Hui, W. (2020). Spatiotemporal variation of surface urban heat islands in relation to land cover composition and configuration: A multi-scale case study of Xi'an, China. *Remote Sensing*, 12(17), 2713.
- Manoli, G., Fatichi, S., Schläpfer, M., Yu, K., Crowther, T. W., Meili, N., Burlando, P., Katul, G. G., & Bou-Zeid, E. (2019). Magnitude of urban heat islands largely explained by climate and population. *Nature*, 573(7772), 55–60.
- Maraghi, A. (2020). *Tafsir Al-Maraghi*. Dar Ihya al-Turath al-Arabi.
- Mardani, A., Zavadskas, E. K., Govindan, K., Amat Senin, A., & Jusoh, A. (2016). VIKOR technique: A systematic review of the state of the art literature on methodologies and applications. *Sustainability*, 8(1), 37.
- Marković, K. (2022). Application of Neural Networks in Video Game Simulation. *Sinteza 2022-International Scientific Conference on Information Technology and Data Related Research*, 20–28.

- Mesran, M., Ulfa, K., Utomo, D. P., & Nasution, I. R. (2020). Penerapan Metode VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) dalam Pemilihan Air Conditioner Terbaik. *ALGORITMA: JURNAL ILMU KOMPUTER DAN INFORMATIKA*, 4(1), 24.
- Ningsih, D. A., Hartama, D., & Dewi, R. (2020). Penerapan Metode VIKOR Pada Pengambilan Keputusan Seleksi Calon Penerima Beasiswa di SMK TPI Al-Hassanah Pematang Bandar. *Brahmana: Jurnal Penerapan Kecerdasan Buatan*, 2(1), 25–32.
- Opricovic, S. (1998). Multicriteria optimization of civil engineering systems. *Faculty of Civil Engineering, Belgrade*, 2(1), 5–21.
- Parker, J. (2021). The Leeds urban heat island and its implications for energy use and thermal comfort. *Energy and Buildings*, 235, 110636.
- Puteri, F. H., Astiningrum, M., & Kusbianto, D. (2016). Rancang Bangun Permainan Edukatif “Stop Global Warming” Menggunakan metode Fisher Yates Shuffle. *Seminar Informatika Aplikatif Polinema*.
- Ramadhan, R. F., & Eliyen, K. (2022). Implementasi Metode Topsis Pada Decision Support System Untuk Penilaian Mahasiswa Berbasis Prestasi Akademik Dan Non Akademik. *Rabit: Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Univrab*, 7(2), 156–163.
- Ren, T., Zhou, W., & Wang, J. (2021). Beyond intensity of urban heat island effect: A continental scale analysis on land surface temperature in major Chinese cities. *Science of the Total Environment*, 791, 148334.
- Rofiqo, N., Windarto, A. P., & Wanto, A. (2018). Penerapan Metode VIKOR Pada Faktor Penyebab Rendahnya Minat Mahasiswa Dalam Menulis Artikel Ilmiah. *Seminar Nasional Sains & Teknologi Informasi (SENSASI)*, 1(1), 228–237.
- Santamouris, M., Ding, L., & Osmond, P. (2019). Urban heat island mitigation. *Decarbonising the Built Environment: Charting the Transition*, 337–355.
- Sitanggang, R. A., Kindangen, J. I., & Tondobala, L. (2021). Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kenyamanan Termal pada Bangunan Tipe Rumah Sederhana Studi Kasus: Perumahan Griya Paniki Indah di Manado. *Fraktal: Jurnal Arsitektur, Kota Dan Sains*, 6(1).
- Soboleva, E. V., & Shalaginova, N. V. (2019). Simulation of artificial intelligence in a computer game. *Journal of Physics: Conference Series*, 1399(3), 033050.
- Tafsir Wajiz Jilid I, Bagian I*. (2016). Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an.
- Taleghani, M. (2018). Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2011–2018.
- Tukiran, J. M., Ariffin, J., & Ghani, A. N. A. (2016). Cooling effects of two types of tree canopy shape in Penang, Malaysia. *Geomate Journal*, 11(24), 2275–

- Tukiran, J. M., Ariffin, J., & Ghani, A. N. A. (2017). A study on the cooling effects of greening for improving the outdoor thermal environment in Penang, Malaysia. *GEOMATE Journal*, 12(34), 62–70.
- Tumanggor, H., Mardiana Haloho, P. R., & Nasution, S. D. (2018). Penerapan Metode VIKOR Dalam Penentuan Penerima Dana Bantuan Rumah Tidak Layak Huni. *Jurnal Riset Komputer (Jurikom)*, 5(1), 71–78.
- Wong, N. H., Tan, C. L., Kolokotsa, D., & Takebayashi, H. (2021). Greenery as a mitigation and adaptation strategy to urban heat. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2, 166–181.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:231706376>
- Yan, C., Guo, Q., Li, H., Li, L., & Qiu, G. Y. (2020). Quantifying the cooling effect of urban vegetation by mobile traverse method: A local-scale urban heat island study in a subtropical megacity. *Building and Environment*, 169, 106541.
- Yarnvudhi, A., Leksungnoen, N., Andriyas, T., Tor-Ngern, P., Premashthira, A., Wachrinrat, C., Marod, D., Hermhuk, S., Pattanakiat, S., Nakashizuka, T., & Kjølgren, R. (2022). Assessing the Cooling and Air Pollution Tolerance among Urban Tree Species in a Tropical Climate. *Plants*, 11(22), 1–18.
<https://doi.org/10.3390/plants11223074>

LAMPIRAN

Tabel Hasil Uji Coba Sistem

No.	C1	C2	C3	C4	C5	Nilai Aktual	Nilai Rekomendasi
1.	5	1	1	1	1	Samanea	Samanea
2.	5	2	1	1	1	Samanea	Samanea
3.	5	3	2	2	2	Samanea	Samanea
4.	5	4	3	3	3	Samanea	Samanea
5.	5	5	4	4	4	Samanea	Samanea
6.	1	5	1	1	1	Samanea	Samanea
7.	2	5	1	1	1	Samanea	Samanea
8.	3	5	2	2	2	Samanea	Samanea
9.	4	5	3	3	3	Samanea	Samanea
10.	5	5	4	4	4	Samanea	Samanea
11.	1	1	5	1	1	Samanea	Samanea
12.	1	2	5	1	1	Samanea	Samanea
13.	2	3	5	2	2	Samanea	Samanea
14.	3	4	5	3	3	Samanea	Samanea
15.	4	5	5	4	4	Samanea	Samanea
16.	1	1	1	5	1	Switenia	Switenia
17.	2	1	1	5	1	Switenia	Switenia
18.	3	2	2	5	2	Switenia	Switenia
19.	4	3	3	5	3	Samanea	Samanea
20.	5	4	4	5	4	Samanea	Samanea
21.	1	1	1	1	5	Tabebuia	Tabebuia
22.	1	2	1	1	5	Tabebuia	Tabebuia
23.	2	2	3	2	3	Filicium	Switenia
24.	3	4	3	3	5	Pterocarpus	Pterocarpus
25.	4	5	4	4	5	Pterocarpus	Pterocarpus
26.	4	3	3	3	4	Pterocarpus	Pterocarpus
27.	4	3	5	3	3	Samanea	Samanea
28.	4	2	4	2	3	Samanea	Samanea
29.	3	4	2	2	3	Pterocarpus	Pterocarpus
30.	3	5	2	4	1	Samanea	Samanea
31.	2	1	3	4	5	Pterocarpus	Pterocarpus
32.	5	2	4	1	3	Samanea	Samanea
33.	3	2	1	5	4	Pterocarpus	Pterocarpus
34.	2	4	3	1	5	Tabebuia	Tabebuia
35.	3	4	1	2	5	Tabebuia	Tabebuia
36.	2	3	1	5	4	Pterocarpus	Pterocarpus
37.	3	3	3	2	3	Dalbergia	Switenia
38.	1	2	4	3	5	Tabebuia	Tabebuia
39.	4	1	3	5	2	Switenia	Switenia
40.	2	1	3	5	4	Pterocarpus	Pterocarpus
41.	2	3	5	1	4	Samanea	Samanea
42.	1	4	5	3	2	Samanea	Samanea

43.	2	1	3	4	5	Pterocarpus	Pterocarpus
44.	3	5	2	1	4	Pterocarpus	Pterocarpus
45.	2	2	3	2	2	Corylus	Samanea
46.	4	3	1	5	2	Switenia	Switenia
47.	2	1	3	5	4	Pterocarpus	Pterocarpus
48.	3	4	1	2	5	Tabebuia	Tabebuia
49.	5	2	4	1	3	Samanea	Samanea
50.	2	1	3	2	3	Samanea	Samanea