

**DECISION SUPPORT SYSTEM MITIGASI FENOMENA URBAN HEAT  
ISLAND MENGGUNAKAN METODE TOPSIS FUZZY**

**SKRIPSI**

**Oleh :  
NENDEN NURAENI  
NIM. 210605110149**



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

***DECISION SUPPORT SYSTEM MITIGASI FENOMENA URBAN HEAT  
ISLAND MENGGUNAKAN METODE TOPSIS FUZZY***

**SKRIPSI**

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

Oleh :  
**NENDEN NURAENI**  
**NIM. 210605110149**

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

## HALAMAN PERSETUJUAN

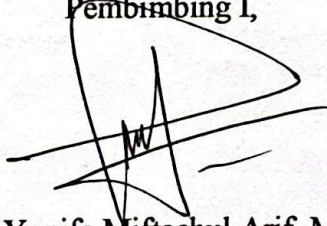
### DECISION SUPPORT SYSTEM MITIGASI FENOMENA *URBAN HEAT ISLAND* MENGGUNAKAN METODE TOPSIS FUZZY

#### SKRIPSI

Oleh :  
**NENDEN NURAENI**  
**NIM. 210605110149**

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:  
Tanggal: 12 Desember 2024

Pembimbing I,



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

Pembimbing II,



**Dr. Zainal Abidin, M.Kom**  
**NIP. 19760613 200501 1 004**

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

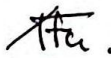
### **DECISION SUPPORT SYSTEM MITIGASI FENOMENA URBAN HEAT ISLAND MENGGUNAKAN METODE TOPSIS FUZZY**

#### SKRIPSI

Oleh :  
**NENDEN NURAENI**  
**NIM. 210605110149**

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi  
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer ( S.Kom )  
Tanggal: 27 Februari 2025

#### Susunan Dewan Penguji

|                     |                                                                       |                                                                                           |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ketua Penguji       | : <u>Fatchurrochman, M.Kom</u><br>NIP. 19700731 200501 1 002          | (  ) |
| Anggota Penguji I   | : <u>Ajib Hanani, M.T</u><br>NIP. 19840731 202321 1 013               | (  ) |
| Anggota Penguji II  | : <u>Dr. Yunifa Miftachul Arif, M.T</u><br>NIP. 19830616 201101 1 004 | (  ) |
| Anggota Penguji III | : <u>Dr. Zainal Abidin, M.Kom</u><br>NIP. 19760613 200501 1 004       | (  ) |

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



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

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nenden Nuraeni

NIM : 210605110149

Fakultas / Jurusan : Sains dan Teknologi / Teknik Informatika

Judul Skripsi : *Decision Support System Mitigasi Fenomena Urban Heat Island Menggunakan Metode TOPSIS FUZZY.*

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

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

Malang, 28 Februari 2025  
Yang membuat pernyataan,



Nenden Nuraeni

NIM.210605110149

## **MOTTO**

*... Datang, Kerjakan, lalu Menangkan ...*

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Segala puji syukur tercurah kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala limpahan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam penulis haturkan kepada junjungan Nabi Muhammad Shallallahu 'Alaihi Wasallam, yang telah membawa kita dari zaman kegelapan menuju zaman yang penuh ilmu dan cahaya.

Dengan rasa hormat dan terima kasih yang tulus, penulis persembahkan karya ini kepada kedua orang tua, Bapak Dara Sundara dan Ibu Yuli Rusmayanti. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya atas doa yang tak pernah henti, kasih sayang yang tiada batas, dan dukungan tanpa syarat yang selalu menguatkan penulis dalam setiap langkah perjalanan ini. Semoga skripsi ini menjadi pijakan langkah awal pembuka yang dapat mengantarkan penulis ke masa depan dan cita-cita yang penulis inginkan.

Ucapan terima kasih yang tulus penulis sampaikan kepada Dr. Yunifa Miftachul Arif, M.T selaku dosen pembimbing I, dan Bapak Dr. Zainal Abidin, M.Kom selaku dosen pembimbing II. Terima kasih atas bimbingan, arahan, serta masukan yang sangat berharga selama proses penulisan skripsi ini. Kesabaran dan dedikasi yang telah diberikan merupakan salah satu hal terpenting yang memungkinkan terselesaikannya karya ini.

Tak lupa, kepada seluruh teman-teman angkatan penulis, khususnya rekan-rekan grup “Aster”, “S.Komedi”, “Bismillah Cumlaude”, “The Real Pak Bardji”, dan “Pembela Palestina”, serta semua rekan yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Penulis sangat bersyukur memiliki teman-teman yang tidak hanya menjadi

sahabat dalam perjalanan akademik, tetapi juga sebagai keluarga yang selalu ada dalam suka maupun duka. Dukungan yang telah diberikan tidak hanya berupa semangat dan kebersamaan, tetapi juga dalam bentuk perhatian yang membuat masa-masa sulit selama proses studi menjadi lebih ringan untuk dijalani. Kebersamaan yang telah dilalui adalah bagian yang tidak ternilai dalam perjalanan ini, dan setiap tawa, perjuangan, dan motivasi yang telah dibagikan akan selalu menjadi kenangan berharga sepanjang hidup. Terima kasih atas motivasi, kerjasama, dan tawa yang menemani perjalanan studi ini, sehingga dukungan dan kerja sama ini dapat menjadi bekal dan ingatan yang berharga di masa depan.

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum Wr.Wb.*

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir skripsi yang berjudul "*Decision Support System Mitigasi Fenomena Urban Heat Island Menggunakan Metode TOPSIS Fuzzy*" ini dengan baik dan lancar. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa umat manusia dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan kebenaran dan ilmu pengetahuan, sebagaimana yang kita rasakan pada saat ini.

Penyusunan skripsi ini dilaksanakan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer pada Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Dalam proses penelitian dan penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa banyak bantuan, dukungan, serta bimbingan yang diberikan oleh berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung, yang sangat berarti dalam penyelesaian skripsi ini.

Dengan penuh rasa hormat, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus kepada:

1. Prof. Dr. M. Zainuddin, M.A., selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang, yang telah memberikan kesempatan bagi penulis untuk menyelesaikan pendidikan ini.

2. Dr. Sri Harini, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang, atas segala dukungan dan fasilitas yang diberikan kepada penulis selama proses studi.
3. Dr. Ir. Fachrul Kurniawan ST., M.MT., IPU selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang, yang telah memberikan arahan dan dukungan dalam proses akademik penulis.
4. Dr. Yunifa Miftachul Arif, M.T selaku dosen pembimbing I, dan Dr. Zainal Abidin, M.Kom., selaku dosen pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan, masukan, dan motivasi yang sangat berharga selama penyusunan skripsi ini.
5. Dr. Fresy Nugroho, M.T selaku dosen wali, yang telah memberikan bimbingan, dukungan, serta arahan berharga selama penelitian ini. Atas perhatian dan motivasi yang diberikan, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya.
6. Orang tua tercinta, Bapak Dara Sundara dan Ibu Yuli Rusmayanti, serta adik penulis, Shihab Syahril Haj, yang senantiasa memberikan doa, dukungan, dan semangat tiada henti.
7. Keluarga ake Udang, nene Emin, ema Mae dan alm abah Ijar yang senantiasa memberikan doa, dukungan, dan kasih sayang yang tiada henti. Semoga kebaikan kalian selalu dibalas dengan keberkahan.
8. Teman-teman Aster, S.Komedi, Bismillah Cumlaude, The Real Pak Bardji, Pembela Palestina, dan Saudara JRM yang selalu memberikan semangat dan kebersamaan selama masa studi.

9. Seluruh dosen dan staf Program Studi Teknik Informatika serta Fakultas Sains dan Teknologi, yang telah memberikan ilmu dan dukungan selama masa studi penulis.
10. Sahabat penulis Promise, yang selalu memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan karya ilmiah ini di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat, baik bagi penulis sendiri maupun bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang mitigasi lingkungan dan teknologi informasi.

Malang, 28 Februari 2025

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                                                                        |                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>HALAMAN PENGAJUAN .....</b>                                                         | <b>ii</b>                           |
| <b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>                                                       | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>                                                        | <b>iii</b>                          |
| <b>PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN .....</b>                                               | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| <b>MOTTO .....</b>                                                                     | <b>vi</b>                           |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>                                                       | <b>vii</b>                          |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                                                             | <b>ix</b>                           |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                                                                 | <b>xii</b>                          |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                                                             | <b>xiv</b>                          |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                                              | <b>xv</b>                           |
| <b>ABSTRAK .....</b>                                                                   | <b>xvi</b>                          |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                                  | <b>xvii</b>                         |
| <b>مستخلص البحث.....</b>                                                               | <b>xviii</b>                        |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>                                                          | <b>1</b>                            |
| 1.1 Latar Belakang .....                                                               | 1                                   |
| 1.2 Pernyataan Masalah .....                                                           | 9                                   |
| 1.3 Batasan Masalah.....                                                               | 9                                   |
| 1.4 Tujuan Penelitian .....                                                            | 10                                  |
| 1.5 Manfaat Penelitian .....                                                           | 10                                  |
| <b>BAB II STUDI PUSTAKA .....</b>                                                      | <b>11</b>                           |
| 2.1 Penelitian Terdahulu .....                                                         | 11                                  |
| 2.2 Mitigasi .....                                                                     | 16                                  |
| 2.3 <i>Urban Heat Island</i> .....                                                     | 17                                  |
| 2.4 <i>Decision Support System</i> .....                                               | 20                                  |
| 2.5 Albedo .....                                                                       | 20                                  |
| 2.6 Vegetasi.....                                                                      | 22                                  |
| 2.7 <i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)</i> ... | 23                                  |
| 2.8 Identifikasi Kriteria dan Alternatif .....                                         | 24                                  |
| 2.8.1 Menentukan Bobot dengan ROC .....                                                | 25                                  |
| 2.8.2 Menentukan Matriks Keputusan dan Normalisasi .....                               | 26                                  |
| 2.8.3 Menentukan Matriks Keputusan Berbobot .....                                      | 26                                  |
| 2.8.4 Penentuan Solusi Ideal Positif dan Negatif.....                                  | 27                                  |
| 2.8.5 Penghitungan Jarak <i>Euclidean</i> .....                                        | 27                                  |
| 2.8.6 Penghitungan Nilai Preferensi .....                                              | 28                                  |
| 2.9 Logika Fuzzy .....                                                                 | 29                                  |
| <b>BAB III DESAIN DAN IMPLEMENTASI.....</b>                                            | <b>31</b>                           |
| 3.1 Desain Penelitian.....                                                             | 31                                  |
| 3.2 Pengumpulan Data .....                                                             | 32                                  |
| 3.3 Alternatif dan Kriteria .....                                                      | 33                                  |
| 3.4 Alternatif dan Kriteria .....                                                      | 38                                  |
| 3.4.1 Membuat Matriks Keputusan.....                                                   | 38                                  |
| 3.4.2 Matriks Normalisasi.....                                                         | 39                                  |
| 3.4.3 Normalisasi Terbobot .....                                                       | 41                                  |

|                                                               |            |
|---------------------------------------------------------------|------------|
| 3.4.4 Matriks Solusi Ideal Positif dan Negatif .....          | 43         |
| 3.4.5 Matriks Jarak Solusi Ideal Positif dan Negatif .....    | 44         |
| 3.4.6 Nilai Preferensi .....                                  | 46         |
| 3.5 Normalisasi Preverensi.....                               | 47         |
| 3.6 Implementasi Fuzzy .....                                  | 48         |
| 3.6.1 Fuzzyfikasi .....                                       | 48         |
| 3.6.2 Evaluasi Aturan Fuzzy ( <i>Rule Evaluation</i> ) .....  | 49         |
| 3.6.3 Agregasi .....                                          | 51         |
| 3.6.4 Defuzzifikasi (Metode Centroid) .....                   | 52         |
| 3.7 Implementasi Sistem .....                                 | 53         |
| 3.7.1 Halaman Login dan Register .....                        | 54         |
| 3.7.2 Halaman Profil .....                                    | 55         |
| 3.7.3 Halaman Admin .....                                     | 56         |
| 3.7.4 Halaman Member.....                                     | 59         |
| 3.8 Rencana Pengujian .....                                   | 62         |
| 3.8.1 Pengujian <i>System Usability Scale</i> .....           | 62         |
| 3.8.2 Pengujian Solusi Mitigasi .....                         | 64         |
| 3.8.3 Validasi Solusi Mitigasi <i>Urban Heat Island</i> ..... | 67         |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>                       | <b>69</b>  |
| 4.1 Implementasi Sistem .....                                 | 69         |
| 4.1.1 Implementasi TOPSIS .....                               | 69         |
| 4.1.2 Implementasi Fuzzy .....                                | 74         |
| 4.2 Hasil Mitigasi .....                                      | 86         |
| 4.3 Uji Coba System .....                                     | 90         |
| 4.3.1 <i>System Usability Scale</i> .....                     | 90         |
| 4.3.2 Pengujian Solusi Mitigasi .....                         | 93         |
| 4.3.3 Validasi Pengujian Solusi Mitigasi .....                | 97         |
| 4.4 Integrasi Islam .....                                     | 100        |
| 4.4.1 <i>Hablumminallah</i> .....                             | 100        |
| 4.4.2 <i>Habluminannas</i> .....                              | 103        |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>                       | <b>106</b> |
| 5.1 Kesimpulan .....                                          | 106        |
| 5.2 Saran .....                                               | 107        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>                                         |            |
| <b>LAMPIRAN</b>                                               |            |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 Diagram TOPSIS.....                                          | 29 |
| Gambar 3.1 Diagram Sistem Penelitian .....                              | 31 |
| Gambar 3.2 Kasawan Penelitian .....                                     | 33 |
| Gambar 3.3 Halaman Register .....                                       | 55 |
| Gambar 3.4 Halaman Login .....                                          | 55 |
| Gambar 3.5 Halaman Informasi Pengguna .....                             | 56 |
| Gambar 3.6 Tampilan Admin untuk Halaman Daftar Wilayah Mitigasi.....    | 57 |
| Gambar 3.7 Tampilan Admin untuk Halaman Kriteria Mitigasi .....         | 57 |
| Gambar 3.8 Halaman Admin untuk Matriks Keputusan.....                   | 58 |
| Gambar 3.9 Halaman Admin untuk Memasukkan Data Alternatif.....          | 58 |
| Gambar 3.10 Halaman Admin untuk Memasukkan Data Kriteria.....           | 58 |
| Gambar 3.11 Halaman Admin untuk Memasukkan Data Matriks Keputusan.....  | 59 |
| Gambar 3.12 Halaman Member untuk Melihat Daftar Wilayah Mitigasi .....  | 60 |
| Gambar 3.13 Halaman Member untuk Melihat Daftar Kriteria Mitigasi ..... | 60 |
| Gambar 3.14 Halaman Member untuk Melihat Matriks Keputusan.....         | 60 |
| Gambar 3.15 Halaman Member untuk Melihat Normalisasi .....              | 61 |
| Gambar 3.16 Halaman Member untuk Melihat Solusi Ideal .....             | 61 |
| Gambar 3.17 Halaman Member Nilai Preferensi.....                        | 61 |
| Gambar 3.18 Halaman Member untuk Melihat Solusi Mitigasi .....          | 62 |
| Gambar 4.1 Basis Data System .....                                      | 70 |
| Gambar 4.2 Tabel Matriks Keputusan .....                                | 70 |
| Gambar 4.3 Tabel Alternatif .....                                       | 71 |
| Gambar 4.4 Tabel Kriteria .....                                         | 72 |
| Gambar 4.5 Implementasi TOPSIS.....                                     | 73 |
| Gambar 4.6 Variabel Input dan Output.....                               | 74 |
| Gambar 4.7 Himpunan Fuzzy Preferensi Material .....                     | 77 |
| Gambar 4.8 Himpunan Fuzzy Preferensi Vegetas .....                      | 78 |
| Gambar 4.9 Himpunan Output Fuzzy Material .....                         | 79 |
| Gambar 4.10 Himpunan Output Fuzzy Vegetasi .....                        | 80 |
| Gambar 4.11 Hasil Agregasi dan Defuzzifikasi.....                       | 85 |
| Gambar 4.12 Penetapan Hasil Penilaian (Sumber: (Ependi, 2017)).....     | 92 |
| Gambar 4.13 Evaluasi Mitigasi.....                                      | 95 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu .....                                | 15 |
| Tabel 3.1 Hasil Preprocessing.....                                  | 33 |
| Tabel 3.2 Alternatif Wilayah.....                                   | 33 |
| Tabel 3.3 Kriteria .....                                            | 35 |
| Tabel 3.4 Keterangan Kriteria.....                                  | 37 |
| Tabel 3.5 Matriks Keputusan Wilayah Perumahan.....                  | 39 |
| Tabel 3.6 Matriks Keputusan Wilayah Permukiman .....                | 39 |
| Tabel 3.7 Normalisasi Kawasan Perumahan.....                        | 40 |
| Tabel 3.8 Normalisasi Kawasan Perkampungan.....                     | 41 |
| Tabel 3.9 Normalisasi Terbobot Kawasan Perumahan .....              | 42 |
| Tabel 3.10 Normalisasi Terbobot Kawasan Permukiman.....             | 42 |
| Tabel 3.11 Matriks Solusi Ideal untuk Wilayah Perumahan.....        | 44 |
| Tabel 3.12 Matriks Solusi Ideal untuk Wilayah Permukiman .....      | 44 |
| Tabel 3.13 Matriks Jarak Solusi Ideal untuk Wilayah Perumahan ..... | 45 |
| Tabel 3.14 Nilai Preferensi Kawasan Perumahan.....                  | 46 |
| Tabel 3.15 Range Albedo.....                                        | 47 |
| Tabel 3.16 Hasil Normalisasi Preferensi.....                        | 48 |
| Tabel 3.17 Daftar Pertanyaan SUS .....                              | 63 |
| Tabel 3.18 Daftar pertanyaan.....                                   | 68 |
| Tabel 4.1 Semesta Pembicaraan Variabel Fuzzy .....                  | 75 |
| Tabel 4.2 Himpunan Fuzzy .....                                      | 75 |
| Tabel 4.3 Rule Fuzzy .....                                          | 82 |
| Tabel 4.4 Hasil Mitigasi.....                                       | 86 |
| Tabel 4.5 Hasil Perhitungan SUS .....                               | 90 |
| Tabel 4.6 Evaluasi Mitigasi.....                                    | 94 |
| Tabel 4.7 Hasil Validasi.....                                       | 98 |

## ABSTRAK

Nuraeni, Nenden. 2025. ***Decision Support System Mitigasi Fenomena Urban Heat Island Menggunakan Metode TOPSIS FUZZY***. 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. Zainal Abidin, M.Kom.

**Kata Kunci:** DSS, Fuzzy, Mitigasi, TOPSIS, *Urban Heat Island*.

Pembangunan yang pesat di Kota Malang menyebabkan adanya alih fungsi lahan hijau menjadi terbangun. Kondisi ini dapat menyebabkan fenomena *Urban Heat Island*, yang dapat membahayakan kesehatan masyarakat, bahkan berujung pada kematian jika tidak segera ditangani. Oleh karena itu, diperlukan langkah mitigasi untuk mengatasi fenomena *Urban Heat Island*. Untuk mengatasi masalah tersebut, penelitian ini berfokus pada dua wilayah yang akan dijadikan sebagai lokasi untuk penerapan strategi mitigasi yaitu kawasan *planned* dan *unplanned*. Penelitian ini menggunakan metode TOPSIS fuzzy, yang bertujuan untuk menghasilkan multisolusi alternatif. Penelitian ini menunjukkan bahwa mitigasi pada aspek albedo mencapai akurasi sebesar 98%, sementara mitigasi pada aspek vegetasi mencapai akurasi 99%. Validasi hasil penelitian dilakukan oleh tim ahli dari Pemerintah Kota Malang yang terdiri dari 6 orang, dengan tingkat kebenaran sebesar 92%. Selain itu, survei *System Usability Scale* (SUS) terhadap sistem mitigasi yang dikembangkan dilakukan oleh 55 responden dan menghasilkan skor rata-rata 86, yang menunjukkan bahwa sistem diterima dengan baik oleh pengguna. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi pemerintah dalam merencanakan pembangunan yang berkelanjutan, sehingga dapat mengurangi dampak negatif fenomena *Urban Heat Island*.

## ABSTRACT

Nuraeni, Nenden. 2025. **Decision Support System Mitigating the Urban Heat Island Phenomenon Using the TOPSIS FUZZY Method.** Thesis. Informatics Engineering Study Program, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University, Malang. Promoter: (I) Dr. Yunifa Miftachul Arif, M. T (II) Dr. Zainal Abidin, M.Kom.

**Keywords:** DSS, Fuzzy, TOPSIS, Mitigation, Urban Heat Island.

The rapid development in Malang City has led to the conversion of green spaces into built-up areas. This condition can trigger the Urban Heat Island phenomenon, which poses health risks to the public and may even lead to fatalities if not addressed promptly. Therefore, mitigation measures are necessary to counteract the Urban Heat Island phenomenon. To tackle this issue, this study focuses on two areas designated for mitigation strategy implementation: planned and unplanned zones. The research employs the fuzzy TOPSIS method to generate multiple alternative solutions. The findings indicate that mitigation efforts in the albedo aspect achieve an accuracy of 98%, while mitigation in the vegetation aspect reaches 99% accuracy. The research results were validated by a team of six experts from the Malang City Government, with an accuracy rate of 92%. Additionally, a System Usability Scale (SUS) survey was conducted on the developed mitigation system, involving 55 respondents, and yielded an average score of 86, indicating that the system was well-received by users. This study is expected to serve as a reference for the government in planning sustainable development, thereby minimizing the negative impacts of the Urban Heat Island phenomenon.

## مستخلص البحث

نور عيني، نيندن. 2025. نظام دعم القرار للتخفيف من ظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية باستخدام طريقة ترتيب التفضيل بالتشابه مع الحل المثالي للضبابي (TOPSIS FUZZY). البحث الجامعي. قسم الهندسة المعلوماتية، كلية العلوم والتكنولوجيا بجامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: د. يونيفا مفتاح العارف، الماجستير؛ المشرف الثاني: د. زين العابدين، الماجستير.

**الكلمات الرئيسية:** نظام دعم قرار، ضبابي، تخفيف، تقنية ترتيب تفضيل بتشابه مع حل مثالي، جزيرة حرارة حضرية.

تسبب التطور السريع في مدينة مالانج في تحويل الأراضي الخضراء التي سيتم بناؤها. يمكن أن تسبب هذه الحالة ظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية، والتي يمكن أن تعرض الصحة العامة للخطر، حتى تؤدي إلى الوفاة إذا لم يتم علاجها على الفور. لذلك، هناك حاجة إلى تدابير التخفيف للتغلب على ظاهرة جزيرة الحرارة الحضرية. للتغلب على هذه المشكلة، ركز هذا البحث على مجالين سيتم استخدامهما كمواقع لتنفيذ استراتيجيات التخفيف، وهما المناطق المخططة وغير المخططة. استخدم هذا البحث طريقة ترتيب التفضيل بالتشابه مع الحل المثالي للضبابي، والتي تهدف إلى إنتاج حلول متعددة بديلة. أظهر هذا البحث أن التخفيف في جانب البياض يحقق دقة بنسبة 98٪، بينما يحقق التخفيف في الجانب النبائي دقة بنسبة 99٪. تم التحقق من صحة نتائج البحث من قبل فريق من الخبراء من حكومة مدينة مالانج يتألف من 6 أشخاص، بنسبة التحقق من صحتها 92٪. بالإضافة إلى ذلك، أجرى 55 مستجيباً مسح مقياس قابلية استخدام النظام (SUS) لنظام التخفيف الذي تم تطويره وأسفرت عن متوسط درجة 86، مما يدل على أن النظام يحظى باستقبال جيد من قبل المستخدمين. من المتوقع أن يكون هذا البحث مرجعاً للحكومة في تخطيط التنمية المستدامة، بحيث يمكن أن تقلل من التأثير السلبي لظاهرة جزيرة الحرارة الحضرية.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pembangunan perkotaan yang pesat di berbagai belahan dunia telah menyebabkan berkurangnya ruang terbuka hijau di kota-kota akibat alih fungsi lahan menjadi bangunan dan infrastruktur untuk memenuhi kebutuhan tempat tinggal, bisnis, industri, pendidikan dan transportasi (Tao et al., 2023) yang menyebabkan bumi menghadapi tantangan perubahan iklim. Berdasarkan data BMKG, pada bulan September 2023, suhu di Indonesia tercatat sebagai yang paling panas keempat sejak tahun 1981. Data dari 91 stasiun pengamatan BMKG menunjukkan bahwa normal suhu udara periode 1991-2020 di Indonesia adalah sebesar 26,8°C, sedangkan suhu udara rata-rata pada tahun 2022 adalah sebesar 27,0°C (BMKG 2023). Kenaikan suhu global ini mengakibatkan perubahan iklim, yang tidak hanya dipengaruhi oleh faktor alam tetapi juga terutama oleh aktivitas manusia, seperti penggunaan bahan bakar fosil dalam transportasi dan alih fungsi lahan, termasuk konversi hutan menjadi lahan pertanian dan lahan pertanian menjadi bangunan. Aktivitas manusia ini, jika tidak dikelola dengan baik dalam pengembangan kota, dapat meningkatkan suhu permukaan bumi dan menyebabkan fenomena *Urban Heat Island* (Jabbar et al., 2023; Li et al., 2023). Allah berfirman dalam QS. Al-Fajr ayat 10-14 sebagai berikut.

وَفَالَّذِينَ طَغَوْا فِي الْبِلَادِ (١٠) الَّذِينَ طَغَوْا فِي الْبِلَادِ (١١) فَكَثُرُوا فِيهَا الْفَسَادَ (١٢) فَصَبَّ عَلَيْهِمْ رَبُّكَ سَوْطَ  
عَذَابٍ (١٣) إِنَّ رَبَّكَ لَبِالْمِرْصَادِ (١٤)

*“Dan Fir‘aun yang mempunyai pasak-pasak (bangunan yang besar), yang berbuat sewenang-wenang dalam negeri, lalu banyak berbuat kerusakan di dalamnya (negeri itu), maka Tuhanmu menimpakan cemeti azab (yang dahsyat) kepada mereka? Sesungguhnya Tuhanmu benar-benar mengawasi.” (QS. Al-Fajr: 10-14).*

Berdasarkan tafsir Ibnu Katsir, ayat ini menggambarkan kehancuran peradaban yang membangun kota-kota besar dengan keangkuhan tetapi disertai dengan kerusakan dan ketidakadilan. Dalam konteks *Urban Heat Island* (UHI), ayat ini menjadi peringatan bahwa pembangunan yang hanya berfokus pada infrastruktur tanpa memperhatikan keseimbangan lingkungan dapat menimbulkan dampak negatif, seperti peningkatan suhu ekstrem, polusi, dan bencana ekologis. Seperti kaum ‘Ad, Tsamud, dan Fir‘aun yang dihancurkan karena kesombongan mereka dalam membangun tanpa keadilan dan kepedulian terhadap lingkungan, fenomena UHI menunjukkan bagaimana eksploitasi alam yang berlebihan dapat merusak ekosistem dan mengancam kehidupan manusia (Syaiikh, n.d.).

Dalam konteks pembangunan perkotaan yang pesat, ketidakseimbangan antara pembangunan dan pelestarian lingkungan dapat menyebabkan kerusakan yang nyata, seperti yang terlihat pada fenomena *Urban Heat Island* (GIYASOV & GUROVICH, 2022). Peningkatan suhu di perkotaan akibat kurangnya ruang terbuka hijau adalah contoh nyata dari kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh manusia. Polusi udara, peningkatan emisi gas rumah kaca, dan dampak kesehatan yang buruk merupakan manifestasi dari bentuk kerusakan yang tidak disukai oleh Allah.

Dampak *Urban Heat Island* tidak hanya terbatas pada lingkungan, tetapi juga menimbulkan risiko serius terhadap kesehatan manusia, terutama di wilayah yang mengalami suhu ekstrem. Meningkatnya suhu di perkotaan memperburuk kondisi iklim lokal, memicu gelombang panas yang berkepanjangan, dan meningkatkan kebutuhan energi untuk pendinginan. Fenomena ini sering kali terjadi di kota-kota besar di seluruh dunia, dan tanpa adanya upaya mitigasi, dampaknya bisa semakin merugikan bagi masyarakat dan lingkungan. Salah satu contoh nyata efek *Urban Heat Island* di Sydney yang mengalami peningkatan suhu ekstrem yang mencapai 10–12°C dibandingkan daerah sekitarnya menyebabkan lonjakan angka kematian akibat gelombang panas, terutama di kalangan kelompok rentan seperti lansia, serta meningkatkan risiko heat stress dan penyakit pernapasan (Chaston et al., 2022). Tindakan mitigasi *Urban Heat Island* ini harus diupayakan secara serius dan berkelanjutan, hal ini dikarenakan jika tidak ditangani secara benar akan menimbulkan efek yang sangat fatal seperti meningkatnya angka kematian akibat penyakit terkait panas, degradasi kualitas lingkungan hidup, dan peningkatan biaya hidup masyarakat akibat penggunaan energi yang lebih tinggi untuk pendinginan (Han et al., 2023; Irfeey et al., 2023).

Pembangunan perkotaan yang pesat kerap terjadi di berbagai kota besar, termasuk Kota Malang (Imadudinna et al., 2023). Kota ini mengalami peningkatan pembangunan karena menjadi tujuan wisata dan pusat pendidikan yang diminati banyak orang. Sebagai kota pariwisata, Malang menarik banyak pengunjung dari luar daerah untuk menikmati tempat-tempat wisata, sehingga mendorong pembangunan sektor perhotelan, pusat perbelanjaan, dan infrastruktur lainnya

(Risfandini et al., 2023). Pada tahun 2023, jumlah wisatawan domestik di Kota Malang mencapai 1.179.797 orang (BPS, 2023). Selain itu, Malang juga merupakan kota pendidikan yang menarik banyak pendatang dari luar daerah untuk menempuh pendidikan di berbagai institusi yang ada (Loe et al., 2022). Banyaknya pendatang ini mendorong pembangunan fasilitas pendukung, seperti gedung perkuliahan, asrama, dan infrastruktur lainnya, yang dapat mengurangi Ruang Terbuka Hijau (RTH) di Kota Malang. Jumlah pendatang di Kota Malang pada tahun 2023 tercatat sebanyak 7.627 orang, dengan pertumbuhan sebesar 0,12% (BPS, 2023). Dengan banyaknya pembangunan dan peningkatan jumlah pendatang menyebabkan Kota Malang menjadi kota yang padat dan panas (Arif, Rohma, et al., 2024; Azizah et al., 2022).

Luas Ruang Terbuka Hijau (RTH) di Kota Malang ditargetkan mencapai 141,35 hektar hingga akhir tahun 2023 (RKPD, 2023). Angka ini menunjukkan bahwa masih terdapat kekurangan RTH di Kota Malang, karena idealnya RTH publik di perkotaan harus mencapai 20% dari total luas wilayah (Sutrisna, 2023). Berdasarkan Rencana Kerja dan Pembangunan Daerah Kota Malang Tahun 2023 menyebutkan bahwa Persentase luasan Ruang Terbuka Hijau di Kota Malang belum sesuai amanat perundang-undangan dan belum optimalnya pengelolaan Ruang Terbuka Hijau secara edukatif dan kreatif (RKPD, 2023). Pembangunan perkotaan yang pesat ini berpotensi menyebabkan fenomena *Urban Heat Island* di Kota Malang, di mana suhu di perkotaan menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan daerah sekitarnya (Surjati & Wiwoho, 2023). Fenomena Pulau Panas Perkotaan memberikan dampak besar pada kehidupan di kota. Penelitian oleh (Qi et al., 2020)

telah berkontribusi penting dalam memahami strategi mitigasi *Urban Heat Island* dengan pendekatan berbasis ontologi. Namun, penelitian tersebut memiliki beberapa kelemahan, terutama terkait keterbatasan dalam menghubungkan teknik mitigasi *Urban Heat Island* dengan konteks urban. Efektivitas strategi mitigasi juga dapat berbeda-beda tergantung pada variabel perencanaan dan desain yang sering tidak terstandarisasi, sehingga membuat implementasi prototipe menjadi sulit. Oleh karena itu, diperlukan sistem informasi yang lebih terintegrasi, seperti Decision Support Systems (DSS) yang dapat membantu pengambilan keputusan yang lebih baik dengan menggabungkan data dari berbagai sumber dan menyediakan analisis mendalam.

Sistem Pendukung Keputusan (SPK), yang juga dikenal sebagai Decision Support System (DSS) merupakan sistem informasi komputer interaktif yang dirancang khusus untuk membantu pengguna dalam proses pengambilan keputusan (Nicholas, 2023). Sistem ini mengaplikasikan berbagai model keputusan, database, serta pemikiran manajerial untuk mendukung proses pengambilan keputusan yang lebih efektif. Pada penelitian ini, DSS yang dibangun mengimplementasikan metode Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), yang banyak diimplementasikan karena kesederhanaan dan kemudahan penerapannya, bahkan untuk kasus yang memiliki banyak kriteria dan alternatif sekalipun (Kulkarni & Pathak, 2023). Konsep yang mendasari metode tersebut menunjukkan bahwa solusi terbaik merupakan solusi yang berposisi paling dekat dari solusi ideal positif dan paling jauh dari solusi ideal negatif, sehingga DSS yang dibangun dapat memberikan rekomendasi keputusan yang lebih komprehensif dan

sesuai dengan kebutuhan pengguna (Pare et al., 2023). Sebagaimana Allah berfirman dalam surat QS. Al-Anfal ayat 29 sebagai berikut.

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا إِن تَتَّقُوا اللَّهَ يَجْعَلْ لَكُمْ فُرْقَانًا وَيُكَفِّرْ عَنْكُمْ سَيِّئَاتِكُمْ وَيَغْفِرْ لَكُمْ وَاللَّهُ ذُو الْفَضْلِ الْعَظِيمِ ﴿٢٩﴾

*“Wahai orang-orang yang beriman, jika kamu bertakwa kepada Allah, niscaya Dia akan memberikan furqan (kemampuan membedakan antara yang hak dan batil) kepadamu, menghapus segala kesalahanmu, dan mengampuni (dosa-dosa)-mu. Allah memiliki karunia yang besar” (QS. Al-Anfal: 29).*

Menurut tafsir wajiz ayat ini menjelaskan bahwa menghadapi ujian hidup, manusia sering kali mengalami kebingungan dalam menentukan sikap. Melalui Surah Al-Anfal (8:29), Allah menjelaskan bahwa ketakwaan dan ketaatan kepada-Nya akan membekali kita dengan furqan, yakni kemampuan untuk membedakan antara yang hak dan batil. Prinsip ini sangat relevan dalam konteks metode TOPSIS, yang dirancang untuk membantu dalam menentukan keputusan terbaik. Dalam metode TOPSIS, langkah pertama adalah mengidentifikasi kriteria yang sesuai untuk mengevaluasi alternatif, mirip dengan bagaimana ketakwaan mendorong kita untuk menilai pilihan kita secara hati-hati berdasarkan petunjuk Allah. Selanjutnya, alternatif dievaluasi berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan, mencerminkan pentingnya pengambilan keputusan yang didasarkan pada analisis yang cermat. TOPSIS juga melibatkan perhitungan jarak dari solusi ideal, di mana alternatif yang paling dekat dengan solusi ideal positif dan paling jauh dari solusi ideal negatif dipilih sebagai keputusan terbaik. Hal ini sejalan dengan konsep furqan, di mana ketakwaan membantu kita mengenali pilihan yang paling tepat dan menghindari kesalahan. Selain itu, ayat ini mengingatkan kita bahwa Allah akan menghapus

kesalahan dan memberikan karunia-Nya kepada orang-orang yang bertakwa. Dalam konteks TOPSIS, ini dapat diartikan sebagai usaha untuk meminimalkan kesalahan dalam pengambilan keputusan melalui analisis yang rasional dan sistematis (*Tafsir Wajiz Jilid I, Bagian 1*, 2009).

Selain menggunakan metode TOPSIS, penelitian ini juga mengimplementasikan metode Fuzzy untuk mengatasi ketidakpastian dan ambiguitas dalam menentukan solusi mitigasi. Fuzzy Logic memungkinkan representasi tingkat keanggotaan yang bersifat gradual, sehingga lebih fleksibel dibandingkan pendekatan logika biner tradisional (Damastuti et al., 2024). Dalam konteks ini, Fuzzy digunakan untuk menentukan aturan (*rule*) dalam pemilihan alternatif yang optimal, terutama ketika terdapat lebih dari satu alternatif yang memenuhi kriteria. Proses implementasi Fuzzy dimulai dengan menentukan himpunan fuzzy dan fungsi keanggotaan yang sesuai untuk setiap kriteria yang dievaluasi. Selanjutnya, aturan-aturan berbasis Fuzzy (*fuzzy rule*) dibentuk untuk menangkap hubungan kompleks antar kriteria dan alternatif. Pengambilan keputusan berdasarkan Fuzzy dilakukan melalui proses inferensi, di mana beberapa alternatif dinilai berdasarkan derajat keanggotaan mereka terhadap berbagai himpunan fuzzy (Nurhayati et al., 2023). Dengan metode ini, DSS mampu memberikan rekomendasi yang tidak hanya mempertimbangkan faktor objektif, tetapi juga mampu menyesuaikan dengan preferensi subjektif pengguna, sehingga memberikan fleksibilitas lebih dalam memilih alternatif terbaik di antara berbagai pilihan yang ada.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, metode TOPSIS terbukti memiliki performa yang baik dalam menentukan solusi terbaik untuk berbagai pengambilan keputusan. Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh (J.A. Yunita et al., 2023) yang mengimplementasikan TOPSIS untuk menyelesaikan permasalahan penentuan calon penerima bantuan bencana alam. Dengan menentukan kriteria penilaian untuk calon penerima bantuan, yang kemudian akan dihitung matriks keputusan berisi skor setiap calon terhadap kriteria dibuat dan dinormalisasi. Solusi ideal positif dan negatif dihitung sebagai pembanding. Jarak setiap calon ke solusi ideal dihitung, untuk menentukan nilai preferensi, kemudian, calon penerima diurutkan berdasarkan nilai preferensi untuk menentukan prioritas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan metode TOPSIS telah berhasil memberikan rekomendasi penentuan calon penerima bantuan bencana alam.

Penelitian dengan objek berbeda yang dilakukan oleh (Zhang et al., 2019) dalam pemilihan material nano-biologis untuk transplantasi tulang. Penelitian ini menggunakan metode TOPSIS yang diperluas ke dalam *fuzzy covering approximation space* (FFCAS). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode yang diusulkan lebih rasional dan dapat diandalkan dibandingkan dengan metode lainnya, yang didukung oleh uji validasi silang dan pengujian hipotesis.

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan yang telah diuraikan, penelitian ini akan menerapkan metode kombinasi TOPSIS dengan Fuzzy untuk menentukan strategi mitigasi fenomena *Urban Heat Island*. Penelitian ini mempertimbangkan beberapa kriteria, seperti suhu udara, kualitas udara, kenyamanan termal, albedo material dan vegetasi. Alternatif yang digunakan adalah kombinasi dari vegetasi

dan albedo material. Metode TOPSIS diterapkan untuk mengevaluasi kriteria dan Fuzzy akan digunakan untuk menentukan solusi multi-alternatif. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan solusi mitigasi yang tepat dan terukur dalam menangani fenomena *Urban Heat Island*, serta mampu meningkatkan kualitas lingkungan perkotaan dan kesejahteraan masyarakat yang lebih baik.

## 1.2 Pernyataan Masalah

Berdasarkan paparan uraian latar belakang sebelumnya, maka dapat dirumuskan bahwa permasalahan dalam penelitian ini adalah dibutuhkan sistem untuk menentukan multi solusi alternatif mitigasi yang tepat untuk fenomena *Urban Heat Island* dengan menggunakan kombinasi metode TOPSIS dengan Fuzzy.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah :

1. Area penelitian yang difokuskan pada Kota Malang yang terdiri dari delapan area.
2. Kriteria yang digunakan untuk mitigasi fenomena *Urban Heat Island*, meliputi suhu udara, kualitas udara, kenyamanan termal, luas permukaan dinding, atap, jalan, albedo permukaan dinding, atap, jalan, skala taman, skala tanaman koridor dan tutup lahan, albedo skala taman, albedo skala tanaman koridor dan penutup lahan.
3. Alternatif yang digunakan kombinasi dari albedo vegetasi dan albedo material.
4. Data yang digunakan berasal dari kuesioner, data agregat dan konversi nilai albedo.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Memberikan rekomendasi solusi mitigasi yang tepat dan terukur dalam menangani fenomena *Urban Heat Island* untuk meningkatkan kualitas lingkungan perkotaan dan kesejahteraan masyarakat.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Harapan dari penelitian yang dilakukan yakni dapat memberikan manfaat dan maslahat di kemudian hari, antara lain sebagai berikut:

1. Membantu dalam menentukan solusi terbaik terhadap proses mitigasi dalam menghadapi fenomena *Urban Heat Island*.
2. Membantu dalam menentukan kebijakan dan perencanaan kota dalam mengambil keputusan yang tepat untuk mitigasi *Urban Heat Island*.
3. Menghasilkan sistem yang dapat digunakan sebagai model atau referensi bagi kota-kota lain yang menghadapi tantangan serupa.
4. Hasil rekomendasi dapat membantu Pemerintah Kota Malang dalam merumuskan kebijakan dan strategi yang efektif dalam mengurangi dampak *Urban Heat Island*, sehingga tercipta lingkungan kota yang lebih nyaman, sehat, dan berkelanjutan bagi seluruh warganya.

## **BAB II**

### **STUDI PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Mitigasi *Urban Heat Island* atau Pulau Panas Perkotaan menjadi krusial dalam upaya meningkatkan kualitas hidup dan keberlanjutan lingkungan perkotaan. *Urban Heat Island* mengakibatkan peningkatan suhu di kawasan perkotaan yang secara signifikan berdampak negatif terhadap kesehatan masyarakat, termasuk risiko *heat stroke*, dehidrasi, dan penyakit kardiovaskular. Selain itu, suhu yang tinggi memperburuk kualitas udara dengan meningkatkan konsentrasi polutan, seperti ozon troposferik, yang berpotensi menyebabkan gangguan pernapasan. Peningkatan kebutuhan akan pendinginan ruangan akibat suhu tinggi juga mendorong konsumsi energi yang lebih besar, sehingga memperparah emisi gas rumah kaca.

Sebelum adanya sistem mitigasi *Urban Heat Island*, beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengkaji strategi dalam mengurangi dampak panas di daerah perkotaan. Salah satu penelitian yang penting dilakukan oleh (He, 2019), yang menyoroti faktor-faktor utama seperti suhu permukaan, konsumsi energi bangunan, dan kualitas udara. Strategi mitigasi yang digunakan meliputi penerapan atap hijau, fasad hijau, penggunaan bahan bangunan yang reflektif, serta penambahan vegetasi di kota. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa langkah-langkah tersebut efektif dalam menurunkan suhu perkotaan, mengurangi konsumsi energi, serta meningkatkan kenyamanan termal dan kualitas udara.

Di India, penelitian oleh (Khare et al., 2021) juga menemukan strategi serupa dengan fokus pada atap dingin, albedo atap, vegetasi, perkerasan reflektif, dan badan air. Penelitian ini menggabungkan model matematika dengan algoritma Newton yang divalidasi menggunakan data dari taman atap hijau di New Delhi. Hasilnya, atap hijau terbukti bisa menurunkan suhu dalam ruangan hingga 5,1°C ketika dipadukan dengan peneduh termal, sehingga sangat efektif untuk mitigasi *Urban Heat Island* di daerah beriklim panas.

Dalam menghadapi situasi yang semakin kompleks ini, diperlukan sistem informasi untuk mempermudah pengelolaan proses mitigasi *Urban Heat Island*. Tanpa sistem informasi, pengelolaan data seperti suhu, konsumsi energi, dan kualitas udara akan sulit dilakukan dengan efisien. Sistem ini memungkinkan pengumpulan dan analisis data dari berbagai sumber, serta membantu pemantauan kondisi lingkungan secara *real-time*. Hal ini memudahkan pengambilan keputusan yang cepat dan akurat. Selain itu, visualisasi dan simulasi data yang disediakan oleh sistem informasi membantu semua pihak yang terlibat untuk lebih memahami dampak dari strategi mitigasi yang diterapkan. Dengan adanya sistem informasi, perencanaan, implementasi, dan koordinasi upaya mitigasi dapat berjalan lebih efisien dan efektif.

Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Qureshi & Rachid, 2021) yang mengimplementasikan sistem informasi dalam membantu menentukan keputusan yang lebih baik dengan menggunakan metode Analisis Keputusan Multi-Kriteria (MCDA) untuk mengevaluasi strategi mitigasi yang paling cocok dengan kebutuhan dan kondisi setempat. Penelitian ini menunjukkan bahwa alat berbasis

GIS efektif untuk analisis spasial dan visualisasi data. MCDA, seperti AHP, Delphi Fuzzy, dan *technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*, juga terbukti membantu pengambil keputusan dalam menilai berbagai pilihan mitigasi *Urban Heat Island*, meskipun setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing.

Penelitian (Handayani, 2022) di Yogyakarta yang membahas tentang pemilihan area pengembangan Ruang Terbuka Hijau dengan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* dan TOPSIS yang dilakukan untuk mencegah penyusutan kawasan Ruang Terbuka Hijau akibat dampak pembangunan menjadi kawasan komersial dan sebagai upaya mengantisipasi bencana. Metode AHP digunakan untuk menentukan bobot kriteria dan subkriteria, sedangkan TOPSIS digunakan untuk mengevaluasi dan membandingkan alternatif-alternatif area pengembangan Ruang Terbuka Hijau berdasarkan kriteria-kriteria yang telah ditentukan. Hasil analisis menunjukkan bahwa dari 4 alternatif area pengembangan Ruang Terbuka Hijau yang ditawarkan, Kecamatan Umbulharjo terpilih sebagai area yang layak direkomendasikan dengan nilai preferensi tertinggi sebesar 0,638. Kecamatan Kotagede memiliki nilai preferensi sebesar 0,587, Kecamatan Gondokusuman 0,487, dan Kecamatan Danurejan 0,347. Penelitian ini juga menemukan bahwa kriteria teknis dianggap lebih penting dibandingkan kriteria ekonomi dan lingkungan, serta luas wilayah menjadi subkriteria yang paling dipertimbangkan dengan bobot 0,187.

Penelitian lain yang dilakukan oleh (Auliya et al., 2021) di Perusahaan Aneka Adhilogam Karya (AAK) di Kabupaten Klaten yang membahas tentang

penanganan limbah pasir dan gas buang dari proses produksi yang tidak ditangani secara optimal yang menyebabkan pencemaran lingkungan yang berdampak pada kondisi ekonomi dan sosial. Penelitian ini menggunakan metode Fuzzy dan TOPSIS untuk mengidentifikasi dan menganalisis faktor-faktor yang dapat mendorong upaya peningkatan kesehatan lingkungan di perusahaan AAK. Hasil analisis dari penelitian ini ditemukan bahwa faktor standarisasi kerja terhadap penggunaan alat pelindung diri (APD) memiliki bobot terbesar (0,6699). Hal ini menunjukkan bahwa penegakan disiplin penggunaan APD oleh pekerja merupakan prioritas utama. Faktor peningkatan teknologi ramah lingkungan juga memiliki bobot yang tinggi (0,669), mengindikasikan perlunya investasi dalam inovasi proses produksi yang lebih bersih. Penggunaan sumber air alternatif untuk penghematan biaya (0,654) serta edukasi pekerja tentang kesehatan lingkungan (0,634) dan budaya menjaga kebersihan (0,634) juga menjadi faktor-faktor penting. Secara keseluruhan, penelitian ini merekomendasikan agar perusahaan menerapkan konsep *green manufacturing*, menegakkan disiplin APD, dan memanfaatkan limbah produksi secara optimal.

Selanjutnya penelitian yang di lakukan (Fauzi & Setiawan, 2021) di Klaten dengan menggunakan TOPSIS yang digunakan untuk mengevaluasi penentuan lokasi TPA dengan mempertimbangkan beberapa kriteria yang relevan, sehingga diperoleh lokasi yang sesuai dan optimal berdasarkan peraturan dan kebijakan pemerintah setempat. Penelitian ini mengidentifikasi enam calon lokasi alternatif untuk TPA sampah, yaitu Desa Dukuh Kecamatan Bayat, Desa Pakisan Kecamatan Cawas, Desa Troketon Kecamatan Pedan, Desa Ngolodono Kecamatan

Karangdowo, Desa Kenaiban Kecamatan Juwiring, dan Desa Gunting Kecamatan Wonosari. Kriteria yang digunakan dalam penilaian mengacu pada persyaratan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-3241-1994. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berdasarkan analisis TOPSIS, Desa Troketon Kecamatan Pedan menempati peringkat tertinggi sebagai lokasi TPA sampah yang optimal di Kabupaten Klaten. Sementara itu, Desa Pakisan di Kecamatan Cawas merupakan alternatif lokasi yang menempati peringkat terbawah. Hal ini menunjukkan TOPSIS terbukti efektif dalam mengevaluasi dan menentukan lokasi TPA sampah yang optimal di Kabupaten Klaten berdasarkan kriteria-kriteria teknis dan lingkungan yang relevan.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

| No | Judul                                                                                                                                                                                 | Metode       | Objek Penelitian                                                                                                               | Hasil                                                                                                                                                                                             |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | An analysis of challenges to the low-carbon energy transition toward sustainable energy development using an IFCM-TOPSIS approach: A case study. (Kamali Saraji & Streimikiene, 2024) | Fuzzy TOPSIS | Penelitian ini berfokus pada sistem pendukung keputusan untuk transisi energi rendah karbon                                    | Penelitian menunjukkan bahwa TOPSIS efektif dalam mengevaluasi dan meranking berbagai skenario transisi energi rendah karbon.                                                                     |
| 2. | Supplier selection in green supply chain management using correlation-based TOPSIS in a q-rung orthopair fuzzy soft environment (Zulqarnain et al., 2024).                            | Fuzzy TOPSIS | Penelitian ini berfokus pada sistem keputusan multiatribut untuk pemilihan pemasok dalam manajemen rantai pasokan hijau (GSCM) | Dalam penelitian ini, pendekatan TOPSIS dan fuzzy berhasil diterapkan dengan baik untuk menangani masalah pengambilan keputusan dalam konteks pemilihan pemasok di manajemen rantai pasokan hijau |
| 3. | Pengujian Optimization dan Non-Optimization Query Metode TOPSIS untuk Menentukan Tingkat Kerusakan Sektor Bencana Alam (Safitri et al., 2022)                                         | TOPSIS       | Penelitian ini difokuskan pada kerusakan sektor pasca bencana alam                                                             | Metode TOPSIS dengan <i>query</i> optimization berhasil diterapkan dalam studi kasus ini, memberikan efisiensi waktu dalam pengolahan data untuk menentukan tingkat kerusakan pasca bencana alam  |

| No | Judul                                                                                                                                 | Metode        | Objek Penelitian                                                                                                                                       | Hasil                                                                                                                                                                  |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4. | Designing a Decision Support System for Educational Resource Allocation (Muharlisiani et al., 2023).                                  | TOPSIS        | Penelitian ini berfokus pada sistem pendukung keputusan (DSS) untuk alokasi sumber daya pendidikan.                                                    | Penggunaan TOPSIS dalam penelitian ini terbukti efektif dalam memberikan panduan untuk pengalokasian sumber daya secara optimal.                                       |
| 5. | Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan SMA Berbasis Web Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) dan TOPSIS (Putri, 2023). | AHP<br>TOPSIS | Penelitian ini berfokus pada pengembangan SPK untuk membantu siswa dalam memilih SMA yang sesuai dengan preferensi dan kriteria yang telah ditetapkan. | Sistem memberikan rekomendasi sekolah yang lebih akurat dan terarah, serta mempermudah proses pengambilan keputusan.                                                   |
| 6. | Penentuan Kelayakan Survey Kredit Calon Nasabah Menggunakan Metode TOPSIS Berbasis Web (Resmi & Muttaqin, 2020).                      | TOPSIS        | Penelitian ini berfokus pada penilaian kelayakan calon debitur untuk mendapatkan kredit.                                                               | Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode TOPSIS dapat digunakan untuk menentukan ranking calon debitur berdasarkan kriteria yang telah ditentukan.                    |
| 7. | Perbandingan Metode AHP dan TOPSIS untuk Pemilihan Karyawan Berprestasi (Nasution et al., 2022).                                      | AHP<br>TOPSIS | Penelitian berfokus Sistem Pendukung Keputusan (SPK) untuk pemilihan karyawan berprestasi di Merapi Online Corporation (MOC)                           | Kedua metode memberikan hasil yang sama dalam peringkat pertama, metode TOPSIS dianggap lebih baik karena tidak ada selisih perhitungan antara hasil manual dan sistem |

## 2.2 Mitigasi

Mitigasi merupakan suatu upaya yang dilakukan untuk mengurangi atau meminimalkan dampak dari suatu bencana atau kejadian yang berbahaya. Menurut (Kumar et al., 2020), mitigasi bencana dan strategi-strateginya dalam konteks

global dapat dipandang sebagai suatu seni melakukan pencegahan dan pengurangan dampak bencana dengan memperhatikan berbagai faktor, baik yang bersifat struktural maupun non-struktural. Dalam konteks yang lebih luas, (Krimgold, 1986) mendefinisikan mitigasi merupakan serangkaian tindakan yang bertujuan untuk mengurangi dampak bencana alam terhadap infrastruktur dan masyarakat, yang meliputi pemahaman pola bencana, perencanaan dan regulasi bangunan yang tepat, pendidikan masyarakat tentang risiko, penilaian kerentanan bangunan, serta integrasi mitigasi dalam perencanaan pembangunan yang melibatkan berbagai pemangku kepentingan. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan kesiapsiagaan dan mengurangi risiko bencana di masa depan.

Upaya mitigasi tidak hanya dapat dilakukan pada saat terjadi bencana, tetapi juga pada tahap-tahap sebelum dan sesudah bencana terjadi. (Tay et al., 2022) menyatakan bahwa mitigasi merupakan salah satu komponen penting dalam siklus manajemen bencana, yang meliputi tahap pencegahan, kesiapsiagaan, tanggap darurat, dan pemulihan. Dengan demikian, mitigasi dapat dipandang sebagai suatu upaya sistematis dan terintegrasi untuk mengurangi risiko dan dampak bencana. Menurut (Tay et al., 2022), mitigasi risiko dalam siklus manajemen bencana dapat dilakukan melalui berbagai strategi, seperti perencanaan, pengaturan, pengendalian, dan perlindungan. Strategi-strategi tersebut bertujuan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya bencana dan meminimalkan dampaknya.

### **2.3 *Urban Heat Island***

*Urban Heat Island* merupakan fenomena di mana suhu di daerah perkotaan lebih tinggi dibandingkan dengan daerah pedesaan sekitarnya. Fenomena ini

terutama disebabkan oleh berbagai aktivitas manusia dan perubahan lingkungan yang diakibatkan oleh urbanisasi (Rohma et al., 2024). Beberapa faktor utama yang berkontribusi terhadap terjadinya *Urban Heat Island* meliputi penyimpanan dan pelepasan energi radiasi oleh bangunan dan jalan raya, berkurangnya ventilasi alami, peningkatan suhu dalam ruangan, serta emisi panas dari kendaraan dan aktivitas industri. Penelitian menunjukkan bahwa efek *Urban Heat Island* dapat menyebabkan peningkatan suhu lokal antara 1 hingga 15 °C, tergantung pada berbagai faktor dan metode estimasi (Martilli et al., 2020; Roxon et al., 2020). Efek *Urban Heat Island* sangat luas dan mempengaruhi baik lingkungan maupun kesehatan manusia. Peningkatan suhu di daerah perkotaan menyebabkan peningkatan permintaan energi untuk pendinginan, yang pada akhirnya meningkatkan biaya ekonomi dan menyebabkan degradasi lingkungan. Selain itu, *Urban Heat Island* juga berkontribusi terhadap peningkatan polusi udara dan penurunan kenyamanan termal manusia. Gelombang panas yang ekstrem, yang diperparah oleh efek *Urban Heat Island*, dapat meningkatkan angka kematian di daerah perkotaan (Roxon et al., 2020). Dengan perubahan iklim global dan pertumbuhan urbanisasi yang terus berlanjut, efek *Urban Heat Island* diperkirakan akan semakin parah, sehingga diperlukan strategi mitigasi yang efektif untuk mengatasi masalah ini (Martilli et al., 2020; Roxon et al., 2020).

Strategi mitigasi *Urban Heat Island* umumnya berfokus pada peningkatan tutupan vegetasi, penggunaan bahan reflektif untuk jalan dan atap, serta penerapan teknologi atap dingin dan hijau. Penanaman pohon dan pengembangan ruang hijau perkotaan dapat membantu mengurangi suhu udara melalui proses evapotranspirasi

dan peneduhan. Penggunaan bahan reflektif dan atap dingin dapat membantu memantulkan lebih banyak sinar matahari dan mengurangi penyerapan panas oleh permukaan bangunan. Langkah-langkah ini telah terbukti efektif dalam mengurangi suhu perkotaan dan meningkatkan kenyamanan termal (Chakraborty et al., 2020; Roxon et al., 2020). Namun, efektivitas strategi ini dapat bervariasi tergantung pada konteks perkotaan spesifik dan waktu puncak suhu. Sebagai contoh, *Urban Heat Island* cenderung lebih menonjol pada malam hari, sementara konsumsi energi bangunan untuk pendinginan tertinggi terjadi pada siang hari (Martilli et al., 2020).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Vásquez-Álvarez et al., 2022) dan (Ulpiani, 2021) efek *Urban Heat Island* juga berhubungan erat dengan Pulau Polusi Perkotaan (*Urban Pollution Island/UPI*). Faktor-faktor yang mempengaruhi *Urban Heat Island*, seperti permukaan kedap air dan aktivitas manusia, juga berkontribusi pada UPI melalui peningkatan emisi pencemaran udara. Penelitian menunjukkan bahwa dengan mengganti perkerasan aspal dengan perkerasan beton di zona yang dianalisis, suhu permukaan lahan (LST) dapat dikurangi hingga 8°C dan LST global dari area yang dipelajari dapat dikurangi sekitar 3°C. Akibatnya, suhu rata-rata udara mengalami penurunan hingga 0,83°C (Roxon et al., 2020). Upaya mitigasi *Urban Heat Island* melalui perancangan perkotaan yang optimal tidak hanya dapat mengurangi suhu, tetapi juga mengurangi UPI dan dampaknya pada lingkungan dan kesehatan masyarakat. Strategi mitigasi yang efektif tidak hanya melibatkan solusi teknis tetapi juga memerlukan partisipasi aktif dari berbagai pemangku kepentingan, termasuk pemerintah, komunitas, dan sektor swasta. Mitigasi *Urban Heat Island* yang efektif dapat memberikan peningkatan

signifikan dalam kualitas hidup di perkotaan, efisiensi energi, dan hasil kesehatan masyarakat. Hal ini menunjukkan bahwa penanganan *Urban Heat Island* bukan hanya tentang pengurangan suhu tetapi juga tentang menciptakan lingkungan perkotaan yang lebih sehat dan berkelanjutan bagi semua penduduknya.

## 2.4 *Decision Support System*

*Decision Support System* adalah sistem berbasis komputer yang membantu proses pengambilan keputusan dengan menyediakan informasi, analisis data, serta simulasi solusi yang relevan (Yazan et al., 2022). DSS digunakan untuk membantu pengambil keputusan, terutama dalam kondisi yang rumit dan membutuhkan analisis data yang cepat dan akurat (Ramesh et al., 2020). Salah satu komponen utama *Decision Support System* adalah basis data yang menyimpan berbagai informasi penting, seperti data historis dan data *real-time*. Selain itu, DSS juga memiliki model analisis yang dapat berupa algoritma, metode statistik, atau simulasi yang mampu menganalisis data tersebut. Komponen *user interface* menjadi penghubung antara pengguna dengan sistem, memudahkan pengguna untuk mengakses dan memanfaatkan informasi yang dihasilkan sistem.

## 2.5 *Albedo*

Albedo merupakan ukuran seberapa banyak radiasi matahari yang dipantulkan oleh suatu permukaan dibandingkan dengan radiasi yang diterimanya. Permukaan dengan albedo tinggi mampu memantulkan lebih banyak radiasi matahari, sehingga mengurangi jumlah panas yang diserap. Sebaliknya, permukaan dengan albedo rendah menyerap lebih banyak panas, yang berkontribusi pada

peningkatan suhu lingkungan di sekitarnya (Smoliak et al., 2022). Dalam konteks lingkungan perkotaan, variasi albedo pada permukaan seperti dinding, atap, dan jalan memiliki pengaruh signifikan terhadap suhu lokal dan kenyamanan termal.

Permukaan bangunan, terutama dinding dan atap, berperan penting dalam mengatur suhu di kawasan perkotaan. Dinding yang terbuat dari material berwarna gelap atau tidak reflektif cenderung menyerap lebih banyak panas, meningkatkan suhu permukaan bangunan dan lingkungan sekitarnya. Sebaliknya, dinding dengan albedo tinggi, seperti yang dilapisi cat reflektif atau terbuat dari material berwarna terang, mampu memantulkan radiasi matahari dan menurunkan suhu permukaan. Penelitian di Metropolitan Mendoza menunjukkan bahwa penggunaan material dengan albedo tinggi pada dinding bangunan dapat mengurangi suhu lingkungan secara signifikan, membantu meredam dampak *Urban Heat Island* (Alchapar et al., 2020).

Selain dinding, atap bangunan juga berkontribusi besar terhadap penyerapan atau pemantulan panas. Atap dengan albedo rendah, seperti yang terbuat dari material gelap, menyerap lebih banyak radiasi matahari, meningkatkan kebutuhan energi untuk pendinginan. Sebaliknya, penggunaan material dengan albedo tinggi, seperti membran reflektif, mampu mengurangi suhu permukaan atap dan beban energi pada bangunan. Di kota-kota besar, penggunaan atap reflektif tidak hanya mengurangi efek pemanasan tetapi juga membantu meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi emisi karbon (Wie et al., 2020).

Permukaan jalan di perkotaan, yang umumnya terbuat dari aspal gelap, juga memiliki albedo rendah. Jalanan tersebut menyerap banyak panas dari radiasi

matahari, yang kemudian meningkatkan suhu lingkungan sekitarnya. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa dengan meningkatkan albedo jalan melalui penggunaan material yang lebih terang atau penerapan cat reflektif, suhu permukaan jalan dapat diturunkan secara signifikan. Upaya ini tidak hanya mengurangi efek pemanasan di jalanan perkotaan, tetapi juga meningkatkan kenyamanan termal dan kualitas udara di wilayah tersebut (Pasetto et al., 2020).

## **2.6 Vegetasi**

Vegetasi memiliki peran yang sangat penting dalam mitigasi pemanasan perkotaan dan peningkatan kualitas lingkungan. Salah satu kontribusi utama vegetasi adalah mengurangi suhu di daerah perkotaan melalui naungan dan evaporasi. Pohon dan tanaman hijau memberikan naungan yang mengurangi radiasi matahari yang langsung mencapai permukaan tanah dan bangunan, sehingga menurunkan suhu permukaan serta mengurangi kebutuhan energi untuk pendinginan di dalam bangunan (Zhao et al., 2023). Selain itu, melalui proses evaporasi, air yang diserap oleh akar tanaman dilepaskan kembali ke atmosfer, menciptakan efek pendinginan lebih lanjut yang sangat efektif dalam mengatasi fenomena pulau panas perkotaan (Zhao et al., 2023).

Vegetasi juga memberikan kontribusi besar terhadap peningkatan kualitas udara di lingkungan perkotaan. Tanaman berfungsi sebagai penyerap polutan udara, termasuk partikel debu dan gas berbahaya, sehingga membantu menciptakan lingkungan yang lebih sehat bagi penduduk kota (Zhao et al., 2023). Dengan menanam berbagai jenis vegetasi, tidak hanya kualitas udara yang meningkat, tetapi juga tercipta ekosistem yang lebih beragam. Hal ini membantu mendukung

keanekaragaman hayati dan meningkatkan daya tahan kota terhadap perubahan iklim yang semakin mengancam akibat urbanisasi (Zhao et al., 2023). Dengan demikian, vegetasi tidak hanya meningkatkan kualitas lingkungan, tetapi juga memberikan stabilitas ekosistem perkotaan.

Selain itu, vegetasi juga berperan dalam memengaruhi albedo, yaitu kemampuan permukaan untuk memantulkan radiasi matahari. Jenis vegetasi dan struktur kanopi menentukan seberapa banyak radiasi yang diserap atau dipantulkan. Kanopi yang rapat cenderung menyerap lebih banyak cahaya, yang menurunkan nilai albedo, sedangkan area tanpa vegetasi seperti tanah kosong atau salju memiliki albedo yang lebih tinggi (Plekhanova et al., 2022). Perubahan tutupan vegetasi, seperti deforestasi atau konversi lahan, meningkatkan albedo yang berdampak pada perubahan pola iklim lokal dan global. Proses evapotranspirasi dari vegetasi juga berperan dalam menjaga kelembapan udara, yang berkontribusi pada stabilitas iklim (Kibler et al., 2023).

## **2.7 *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)***

TOPSIS merupakan salah satu metode pengambilan keputusan multikriteria yang populer dan banyak digunakan dalam berbagai bidang (La Beu et al., 2024). Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Yoon dan Hwang sebagai alat yang dapat membantu pengambil keputusan dalam memilih alternatif terbaik di antara sejumlah pilihan berdasarkan kriteria yang ditentukan (Prayogo & Yudisaputro, 2023). (Singh et al., 2024) mengungkapkan bahwa metode TOPSIS didasarkan pada prinsip bahwa alternatif yang dipilih seharusnya memiliki jarak terdekat dengan solusi ideal positif dan jarak terjauh dari solusi ideal negatif, jika dilihat dari sudut

pandang geometris. Untuk mengukur jarak ini, TOPSIS menggunakan jarak *Euclidean* yang menghitung seberapa dekat suatu alternatif terhadap solusi ideal. Solusi ideal positif merupakan himpunan nilai terbaik yang dapat dicapai oleh setiap atribut dalam suatu keputusan, sementara solusi ideal negatif adalah kumpulan nilai terburuk dari masing-masing atribut tersebut. Dengan demikian, solusi ideal positif menjadi representasi dari kondisi yang paling diinginkan, sedangkan solusi ideal negatif menggambarkan kondisi yang paling tidak diinginkan.

TOPSIS tidak hanya mempertimbangkan jarak antara alternatif dengan solusi ideal positif, tetapi juga memperhitungkan jarak terhadap solusi ideal negatif (Dharmawan, 2024). Untuk menentukan prioritas atau urutan dari alternatif-alternatif yang ada, TOPSIS menghitung kedekatan relatif setiap alternatif terhadap solusi ideal positif. Alternatif yang memiliki nilai kedekatan relatif tertinggi dengan solusi ideal positif akan diprioritaskan sebagai alternatif terbaik. Dengan membandingkan jarak relatif ini, TOPSIS mampu memberikan urutan atau prioritas dari alternatif-alternatif yang tersedia, memungkinkan pengambil keputusan untuk memilih alternatif yang paling optimal berdasarkan kriteria yang telah ditentukan. TOPSIS terdiri dari beberapa langkah utama yang menjelaskan cara kerjanya dalam menyelesaikan sebuah kasus seperti pada penelitian (Kamali Saraji & Streimikiene, 2024). Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

## **2.8 Identifikasi Kriteria dan Alternatif**

Langkah pertama adalah menentukan kriteria yang akan digunakan untuk mengevaluasi alternatif yang tersedia. Kriteria ini harus relevan dengan masalah

atau tujuan yang ingin dicapai. Tahap selanjutnya, identifikasi alternatif yang akan dievaluasi. Alternatif ini bisa berupa berbagai skenario, opsi kebijakan, atau strategi yang berbeda yang dapat diambil untuk mencapai tujuan.

### 2.8.1 Menentukan Bobot dengan ROC

*Rank Order Centroid* (ROC) adalah metode yang digunakan dalam sistem pendukung keputusan untuk memberikan bobot pada kriteria berdasarkan prioritas (Widjaja et al., 2024). Metode ini berfungsi untuk membantu proses seleksi dengan memberikan prioritas pada kriteria yang lebih penting, sehingga memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih terstruktur dan sistematis. ROC bekerja dengan cara mengurutkan kriteria dari yang paling penting hingga yang kurang penting, di mana bobot untuk setiap kriteria dihitung berdasarkan posisi peringkatnya (Hatefi, 2023). Semakin tinggi peringkat suatu kriteria, semakin besar bobot yang diberikan. Dalam menentukan bobot menggunakan metode *Rank Order Centroid* (ROC) dapat dihitung dengan persamaan (2.1).

$$W_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{i}\right) \quad (2.1)$$

Di mana,  $W_m$  merupakan bobot rata-rata yang dihitung untuk kriteria berdasarkan urutannya dari yang paling penting hingga yang kurang penting. Angka  $m$  adalah jumlah total kriteria yang dinilai, sementara  $i$  adalah posisi peringkat dari setiap kriteria. Untuk setiap kriteria pada posisi  $i$ , bobotnya dihitung sebagai  $\frac{1}{i}$ , yang berarti kriteria dengan peringkat teratas (yaitu posisi 1) akan mendapatkan bobot tertinggi, yaitu 1, sedangkan kriteria pada posisi 2 akan mendapatkan bobot  $\frac{1}{2}$ , dan seterusnya. Setelah semua bobot ini dihitung, mereka dijumlahkan dan dibagi

dengan jumlah total kriteria mmm untuk menghasilkan bobot rata-rata  $W_m$ . Pendekatan metode ROC memberikan bobot yang lebih besar pada kriteria yang lebih penting berdasarkan urutan, sehingga memfasilitasi pengambilan keputusan yang lebih terstruktur dan berprioritas pada kriteria yang dianggap lebih relevan dalam analisis.

### 2.8.2 Menentukan Matriks Keputusan dan Normalisasi

Setelah kriteria dan alternatif diidentifikasi, langkah berikutnya adalah membuat matriks keputusan awal. Matriks keputusan ini mencatat nilai dari setiap alternatif terhadap setiap kriteria. Untuk memastikan bahwa kriteria yang memiliki unit atau skala berbeda dapat dibandingkan secara konsisten, matriks keputusan perlu dinormalisasi. Matriks normalisasi dapat di hitung dengan persamaan (2.2).

$$R_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (X_{kj})^2}} \quad (2.2)$$

Di mana  $R_{ij}$  adalah nilai normalisasi dari alternatif  $j$  pada kriteria  $i$ ,  $X_{ij}$  adalah nilai awal dari alternatif  $j$  pada kriteria  $i$ , dan  $n$  adalah jumlah alternatif. Matriks normalisasi ini mengubah semua nilai ke dalam skala yang sama, sehingga perbandingan antar kriteria dapat dilakukan secara adil.

### 2.8.3 Menentukan Matriks Keputusan Berbobot

Setelah matriks keputusan dinormalisasi, langkah selanjutnya adalah mengalikan setiap nilai dalam matriks normalisasi dengan bobot kriteria yang sesuai. Matriks keputusan berbobot  $X'$  dihitung dengan rumus persamaan (2.3).

$$X'_{ij} = R_{ij} \times w_i \quad (2.3)$$

Di mana  $w_i$  adalah bobot untuk kriteria  $i$ . Bobot kriteria mencerminkan pentingnya masing-masing kriteria dalam pengambilan keputusan. Matriks keputusan berbobot ini menggambarkan kontribusi relatif dari setiap alternatif dalam konteks kriteria yang telah ditetapkan.

#### 2.8.4 Penentuan Solusi Ideal Positif dan Negatif

Langkah berikutnya adalah menentukan solusi ideal positif  $(A)^+$  dan solusi ideal negatif  $(A)^-$ . Solusi ideal positif adalah nilai tertinggi yang dapat dicapai untuk setiap kriteria di antara semua alternatif yang ada, sementara solusi ideal negatif adalah nilai terendah. Solusi ideal ini berfungsi sebagai acuan untuk mengevaluasi *performa* relatif setiap alternatif. Rumus untuk menentukan solusi ideal positif dapat di hitung dengan menggunakan persamaan (2.4) dan solusi ideal negatif dapat di hitung dengan persamaan (2.5).

$$A^+ = v_1^+, v_2^+, \dots, v_j^+ \quad (2.4)$$

$$A^- = v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^- \quad (2.5)$$

dimana,

$$A_i^+ = \begin{cases} \max (X_i^+) & \text{jika } i \text{ adalah kriteria benefit} \\ \min (X_i^+) & \text{jika } i \text{ adalah kriteria cost} \end{cases}$$

$$A_i^- = \begin{cases} \max (X_i^+) & \text{jika } i \text{ adalah kriteria cost} \\ \min (X_i^+) & \text{jika } i \text{ adalah kriteria benefit} \end{cases}$$

#### 2.8.5 Penghitungan Jarak *Euclidean*

Setelah solusi ideal positif dan negatif ditentukan, jarak *Euclidean* dihitung untuk setiap alternatif guna menentukan seberapa dekat atau jauh alternatif tersebut

dari solusi ideal. Jarak *Euclidean* diukur dengan rumus persamaan (2.6) untuk nilai positif dan persamaan (2.7) untuk nilai negatif

$$D_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^m (X'_{ij} - A_i^+)^2} \quad (2.6)$$

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^m (X'_{ij} - A_i^-)^2} \quad (2.7)$$

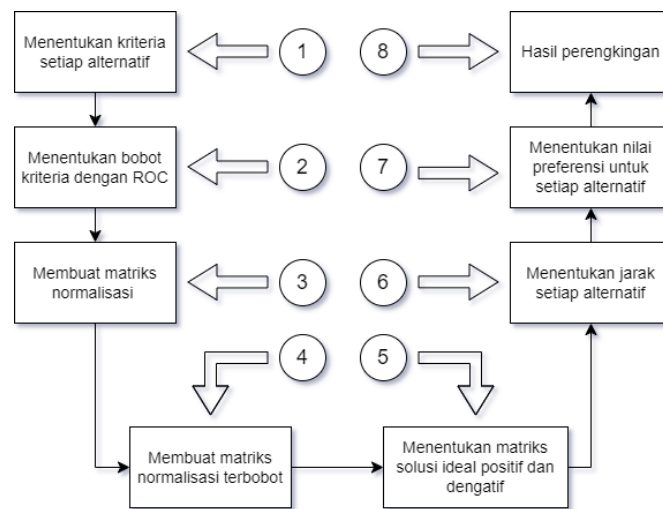
Di mana  $D_j^+$  adalah nilai kedekatan relatif alternatif  $j$  ke solusi ideal positif, dan  $D_j^-$  adalah jarak alternatif  $j$  ke solusi ideal negatif.

### 2.8.6 Penghitungan Nilai Preferensi

Setiap alternatif dalam metode TOPSIS dinilai melalui nilai preferensi yang dinotasikan sebagai  $C_j$ . Nilai  $C_j$  ini dihitung menggunakan persamaan (2.8), di mana hasil perhitungan tersebut digunakan untuk memberikan peringkat bagi alternatif yang dianalisis.

$$C_j = \frac{D_j^-}{D_j^+ + D_j^-} \quad (2.8)$$

Nilai preferensi  $C_j$  dalam TOPSIS menunjukkan seberapa dekat alternatif dengan solusi terbaik (ideal positif) dan seberapa jauh dari solusi terburuk (ideal negatif). Semakin besar nilai  $C_j$  mendekati 1, semakin baik alternatif tersebut. Jika di jabarkan lebih lanjut, pada pembilang terdapat  $D_j^-$  atau jarak dari solusi negatif yang bertujuan untuk memaksimalkan jarak dari solusi terburuk sedangkan di bagian penyebut menggabungkan  $D_j^+$  dan  $D_j^-$  untuk mendapatkan nilai yang proporsional.



Gambar 2.1 Diagram TOPSIS

## 2.9 Logika Fuzzy

Fuzzy logic pertama kali diperkenalkan oleh Prof. L.A. Zadeh pada tahun 1965, merupakan pendekatan yang sangat efektif untuk menangani ketidakpastian dan ambiguitas dalam pengambilan keputusan (Imran Hassan & Suman Kar, 2023). Dalam implementasinya, fuzzy logic memiliki dua pendekatan utama, yaitu metode Mamdani dan metode Sugeno. Penelitian (Sihombing, 2024) memaparkan bahwa metode Mamdani menggunakan aturan berbasis bahasa yang menghasilkan *output* berupa himpunan fuzzy. Pendekatan ini sangat berguna untuk situasi yang membutuhkan penalaran linguistik, seperti dalam menentukan jumlah produksi kolak berdasarkan variabel biaya dan permintaan (Sihombing, 2024). Sebaliknya, metode Sugeno menghasilkan *output* berupa konstanta atau persamaan linear, yang membuatnya lebih sesuai untuk aplikasi yang memerlukan hasil numerik presisi (Arif, Kusumadewi, et al., 2024), seperti dalam penelitian (Sitinjak et al., 2024) yang membahas tentang produksi minyak goreng yang berdasarkan permintaan pasar dan ketersediaan bahan baku.

Keunggulan metode Mamdani terletak pada kemampuannya menangani masalah-masalah dengan ketidakpastian tinggi, terutama dalam aplikasi yang membutuhkan interpretasi berbasis bahasa. Namun, kekurangan utama dari metode ini adalah kompleksitas proses defuzzifikasi, yang dapat membuat hasil akhir sulit diinterpretasikan secara langsung. Sebaliknya, metode Sugeno menawarkan proses yang lebih sederhana karena menghasilkan *output* numerik yang dapat langsung digunakan. Keterbatasannya terletak pada kurangnya fleksibilitas dalam menangani kasus-kasus yang membutuhkan analisis linguistik, tetapi kelebihan utamanya adalah kemampuannya memberikan hasil yang lebih presisi dalam aplikasi berbasis angka (Sihombing, 2024; Sitinjak et al., 2024).

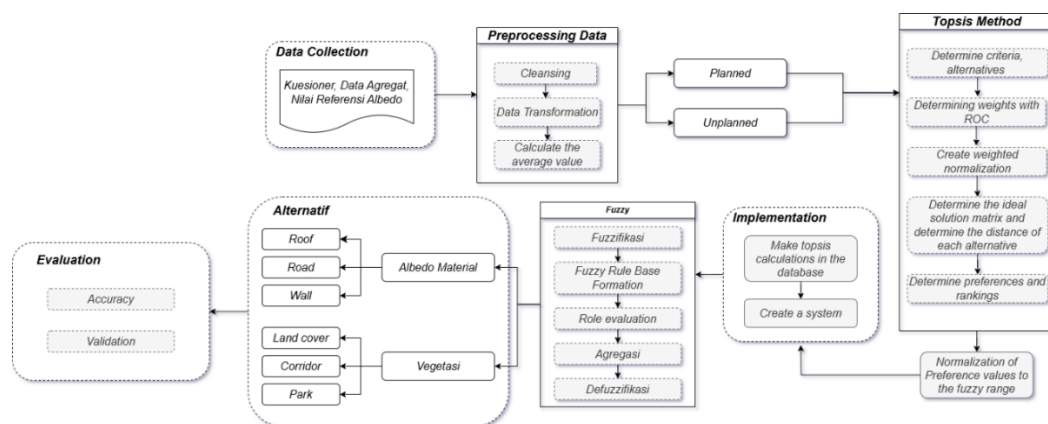
Penggunaan fuzzy logic, baik dengan metode Mamdani maupun Sugeno, telah memberikan kontribusi yang signifikan dalam berbagai bidang penelitian. Misalnya, dalam analisis kualitas air di Medan Belawan, metode Sugeno digunakan untuk mengevaluasi parameter-parameter seperti pH dan Total Dissolved Solids (TDS), yang hasilnya dapat membantu masyarakat memahami kualitas air yang mereka gunakan (Alwin & Saleh, 2021). Kedua pendekatan ini menunjukkan bagaimana fuzzy logic dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik aplikasi, baik yang membutuhkan penalaran berbasis bahasa maupun hasil numerik yang presisi.

## BAB III

### DESAIN DAN IMPLEMENTASI

#### 3.1 Desain Penelitian

Dalam penelitian ini, penulis melaksanakan serangkaian tahapan yang dilakukan secara teratur dan sistematis. Dalam penelitian ini akan bangun sebuah sistem dengan mengimplementasikan TOPSIS yang diintegrasikan dengan logika fuzzy sehingga menghasilkan multi solusi alternatif. Langkah-langkah untuk menentukan multi solusi alternatif dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Sistem Penelitian

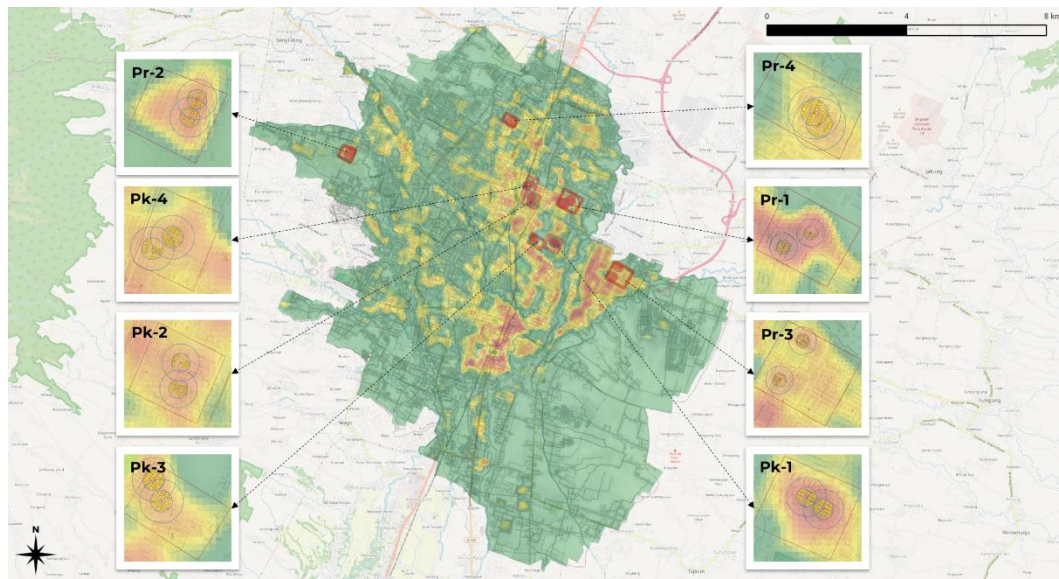
Gambar 3.1 menunjukkan alur proses mitigasi dengan metode TOPSIS yang dimulai dengan tahapan Pengumpulan Data menggunakan kuesioner, data agregat, serta nilai referensi albedo. Data tersebut kemudian diolah pada tahap Praproses Data yang meliputi pembersihan (*cleansing*), *encode* data, dan penghitungan nilai rata-rata. Data akan dibedakan menjadi dua kawasan yaitu *Planned* (Perumahan) dan *Unplanned* (Permukiman), hal ini dikarenakan pada tahapan perhitungan TOPSIS, pemberian bobot di antara kedua kawasan ini berbeda. Hasil perhitungan

TOPSIS ini akan dimasukkan ke dalam Fuzzy untuk memperoleh multi solusi alternatif mitigasi.

Pada bagian Alternatif, mitigasi dibagi menjadi dua kelompok utama: Material Albedo (atap, jalan, dinding) dan Vegetasi (penutup lahan, koridor, taman). Proses ini menggunakan logika Fuzzy untuk membentuk basis aturan, melakukan evaluasi, agregasi, dan defuzzifikasi. Mitigasi pada material albedo, misalnya, dapat berupa penggunaan bahan reflektif untuk atap bangunan, sedangkan mitigasi terhadap vegetasinya dapat melibatkan penyesuaian skala ukuran tanaman pada koridor.

### 3.2 Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data yang bersumber dari kuesioner, data agregat, dan nilai referensi albedo. Pengambilan data dilakukan di Kota Malang, yang dikelompokkan menjadi 8 wilayah yang terdiri dari 4 wilayah Perumahan dan 4 wilayah Perkampungan yang dapat di lihat pada Gambar 3.2. Sebelum analisis dilakukan, data diproses terlebih dahulu melalui tahap *preprocessing* untuk memastikan data tersebut siap digunakan. Tahapan ini mencakup penghapusan data yang tidak diperlukan atau mengandung kesalahan, serta konversi data ke dalam bentuk numerik. Setelah proses tersebut, dilakukan penghitungan nilai rata-rata untuk setiap wilayah agregat guna mendapatkan gambaran kondisi wilayah secara keseluruhan. Langkah ini penting agar data yang digunakan dalam penelitian berada dalam kondisi bersih dan siap untuk dianalisis lebih lanjut. Tabel 3.1 menunjukkan data yang telah di lakukan *preprocessing*.



Gambar 3.2 Kasawan Penelitian

Tabel 3.1 Hasil *Preprocessing*

| No          | Time               | Q1<br>(Suhu) | Q2<br>(Kenyamanan Termal) | Q3<br>(Kualitas Udara) |
|-------------|--------------------|--------------|---------------------------|------------------------|
| 1.          | 7/9/2024 11.11.56  | 2            | 3                         | 3                      |
| 2.          | 7/9/2024 11.24.08  | 3            | 4                         | 3                      |
| 3.          | 7/9/2024 11.26.21  | 3            | 3                         | 3                      |
| 4.          | 7/9/2024 19.23.41  | 4            | 2                         | 2                      |
| 5.          | 7/13/2024 13.05.52 | 2            | 4                         | 4                      |
| ...         | ...                | ...          | ...                       | ..                     |
| ...         | ...                | ...          | ...                       | ...                    |
| 25.         | 8/8/2024 17.01.01  | 3            | 4                         | 3                      |
| 26.         | 8/8/2024 17.03.17  | 3            | 4                         | 2                      |
| Rata - Rata |                    | 2,46         | 3,73                      | 3,08                   |

### 3.3 Alternatif dan Kriteria

Kriteria dan Alternatif wilayah yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 3.3 dan Tabel 3.4 yang menyediakan detail data yang akan digunakan.

Tabel 3.2 Alternatif Wilayah

| No | Nama Kawasan | Koordinat                      | Wilayah                                                                                           | Kategori  |
|----|--------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. | PR1          | -<br>7.9558253,112.6526<br>594 | Jl Titan Asri - Jl Tita Raya - Jl Sulfat Agung - Jl Simpang Sulfat Utara                          | Perumahan |
| 2. | PR2          | -<br>7.9431827,112.5941<br>544 | Perum Joyogrand - Jl Jerusalem - Jl Jeddah - Jl Chili - Jl Halmahera - Jl Terusan Joyo Taman Sari | Perumahan |

| No | Nama Kawasan | Koordinat                      | Wilayah                                                                                                                                | Kategori   |
|----|--------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3. | PR3          | -<br>7.974393,112.66552<br>71  | Jl Danau Panai - Jl Danau Tigi - Jl<br>Danau Sentani Raya                                                                              | Perumahan  |
| 4. | PR4          | -<br>7.9349225,112.6369<br>252 | Jl Ikan Nus 1 - Jl Ikan Layur - Jl<br>Ikan Paus - Jl Taman Borobudhur<br>Agung                                                         | Perumahan  |
| 5. | PK1          | -<br>7.9666487,112.6480<br>891 | Jl Taman Sulfat 32 - Jl Widas<br>Utara - Jl Widas - Jl Pamali - Jl<br>Digul - Jl Comal - Jl Lusi - Jl Binor                            | Permukiman |
| 6. | PK2          | -<br>7.955241,112.64214<br>9   | Jl Ciliwung - Jl Cimadur - Jl<br>Citarum - Jl Cidurian - Jl Cisadane<br>- Jl Cisadea - Jl Cimanuk - Jl<br>Citadui - Jl Ciwulan         | Permukiman |
| 7. | PK3          | -<br>7.9664626,112.6437<br>136 | Jl Mayang - Jl Bondo Yudho - Jl<br>Banyu Putih - Jl Pandan Laras - Jl<br>Tuntang - Jl Girinndulu - Jl Lesti -<br>Jl Rawa - Jl Grindulu | Permukiman |
| 8. | PK4          | -<br>7.9514326,112.6423<br>919 | Jl Karya Timur Wonosari - Jl<br>Karya Timur Gg 1 - Jl Ciliwung<br>1,2,2A,2B - Jl Ciliwung Airdas - Jl<br>Ciliwung                      | Permukiman |

Tabel 3.2 menyajikan informasi mengenai nama kawasan, koordinat geografis, wilayah, dan kategori masing-masing kawasan yang akan dijadikan lokasi penelitian. Lokasi penelitian mencakup 157 kawasan yang terbagi menjadi dua kategori, yaitu Perumahan dan Permukiman. Kawasan Perumahan terdiri dari 42 agregat yang diberi label Perumahan1 hingga Perumahan42, sementara kawasan Permukiman mencakup 115 agregat dengan label Permukiman1 hingga Permukiman115.

Dari keseluruhan kawasan yang dianalisis, delapan kawasan terpilih sebagai lokasi penelitian utama, terdiri dari empat kawasan Perumahan dan empat kawasan Permukiman. Kawasan Perumahan yang terpilih adalah Perumahan11, Perumahan29, Perumahan8, dan Perumahan3. Untuk memudahkan identifikasi, Perumahan11 akan diubah menjadi PR1 sampai Perumahan3 diubah menjadi PR4.

Sebaliknya, kawasan Permukiman yang dipilih meliputi Permukiman51, Permukiman56, Permukiman87, dan Permukiman42. Untuk memudahkan identifikasi, Permukiman56 akan diubah menjadi PK1 sampai Permukiman42 diubah menjadi PK4. Kawasan-kawasan ini merupakan permukiman yang belum tertata dengan baik dan belum memiliki rencana pengembangan yang jelas.

Dengan memetakan dan mengategorikan kawasan-kawasan ini, analisis bertujuan untuk mengidentifikasi prioritas mitigasi yang sesuai dengan karakteristik tiap kawasan. Pemilihan kawasan dilakukan berdasarkan kriteria strategis yang mempertimbangkan koordinat, perencanaan wilayah, serta potensi dampak *Urban Heat Island*. Hasil dari analisis ini diharapkan dapat memberikan landasan dalam merumuskan strategi mitigasi yang efektif dan berkelanjutan.

Tabel 3.3 Kriteria

| No  | Kriteria | Nama Kriteria                      | Bobot<br><i>Planned</i> | Bobot<br><i>Unplanned</i> | Keterangan     |
|-----|----------|------------------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------|
| 1.  | C1       | Suhu Udara                         | 0.032                   | 0.032                     | <i>Cost</i>    |
| 2.  | C2       | Kualitas Udara                     | 0.025                   | 0.025                     | <i>Cost</i>    |
| 3.  | C3       | Kenyamanan Termal                  | 0.019                   | 0.019                     | <i>Benefit</i> |
| 4.  | C4       | Luas Permukaan Dinding             | 0.014                   | 0.014                     | <i>Cost</i>    |
| 5.  | C5       | Luas Permukaan Atap                | 0.009                   | 0.009                     | <i>Cost</i>    |
| 6.  | C6       | Luas Permukaan Jalan               | 0.004                   | 0.004                     | <i>Cost</i>    |
| 8.  | C8       | Albedo Permukaan Atap              | 0.057                   | 0.221                     | <i>Benefit</i> |
| 9.  | C9       | Albedo Permukaan Jalan             | 0.048                   | 0.154                     | <i>Benefit</i> |
| 10. | C10      | Skala Taman                        | 0.221                   | 0.057                     | <i>Benefit</i> |
| 11. | C11      | Skala Tanaman Koridor              | 0.154                   | 0.048                     | <i>Benefit</i> |
| 12. | C12      | Skala Tanaman Penutup Lahan        | 0.121                   | 0.040                     | <i>Benefit</i> |
| 13. | C13      | Albedo Skala Taman                 | 0.098                   | 0.098                     | <i>Benefit</i> |
| 14. | C14      | Albedo Skala Tanaman Koridor       | 0.082                   | 0.082                     | <i>Benefit</i> |
| 15. | C15      | Albedo Skala Tanaman Penutup Lahan | 0.068                   | 0.068                     | <i>Benefit</i> |

Tabel 3.3 menyajikan daftar kriteria yang digunakan dalam analisis mitigasi *Urban Heat Island*. Penentuan bobot kriteria dilakukan dengan menggunakan metode *Rank Order Centroid* (ROC), yang mempertimbangkan perbedaan prioritas

antara kategori Perumahan dan Permukiman. Pemilihan bobot ini mencerminkan variasi dalam pengaruh dan kebutuhan mitigasi pada masing-masing kategori, serta memastikan penilaian yang lebih akurat dan relevan terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas strategi mitigasi *Urban Heat Island*.

Kriteria-kriteria yang digunakan pada studi ini diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu *Cost* dan *Benefit*. Kriteria yang termasuk dalam kategori *Cost* merupakan kriteria yang nilainya diinginkan serendah mungkin. Kriteria ini mewakili aspek yang perlu diminimalkan untuk mencapai hasil mitigasi yang optimal. Nilai yang lebih rendah pada kriteria *Cost* menandakan kondisi lingkungan yang lebih baik dalam konteks mitigasi *Urban Heat Island*, karena semakin rendah nilai suatu kriteria *Cost*, maka semakin rendah pula kontribusinya terhadap peningkatan suhu lingkungan.

Kriteria yang termasuk dalam kategori *Benefit* adalah kriteria yang nilainya diinginkan setinggi mungkin. Kriteria ini mewakili aspek yang perlu dimaksimalkan untuk meningkatkan efektivitas mitigasi *Urban Heat Island*. Nilai yang lebih tinggi pada kriteria *Benefit* menandakan kondisi lingkungan yang lebih baik dalam konteks mitigasi *Urban Heat Island*, karena semakin tinggi nilai suatu kriteria *Benefit*, maka semakin besar kontribusinya terhadap penurunan suhu lingkungan.

Penentuan kriteria dalam penelitian ini dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai faktor yang mempengaruhi kondisi termal lingkungan. Tabel 3.4 menjelaskan dari masing-masing kriteria yang digunakan dalam penelitian.

Tabel 3.4 Keterangan Kriteria

| No. | Kriteria                           | Kategori       | Keterangan                                                                                                                                                             |
|-----|------------------------------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Suhu Udara                         | <i>Cost</i>    | Mengukur tingkat panas di suatu kawasan. Nilai suhu yang lebih rendah diinginkan untuk mengurangi fenomena <i>Urban Heat Island</i> .                                  |
| 2.  | Kualitas Udara                     | <i>Cost</i>    | Menilai konsentrasi polutan udara seperti PM10 dan CO2. Semakin rendah nilai polutan, semakin baik kualitas udara.                                                     |
| 3.  | Kenyamanan Termal                  | <i>Benefit</i> | Mengukur kenyamanan suhu di suatu kawasan. Nilai yang lebih tinggi menunjukkan kondisi yang lebih nyaman bagi penghuni kawasan tersebut.                               |
| 4.  | Luas Permukaan Dinding             | <i>Cost</i>    | Luas permukaan dinding berkontribusi pada penyerapan panas. Semakin besar luasnya, semakin banyak panas yang diserap dan dilepaskan ke lingkungan.                     |
| 5.  | Luas Permukaan Atap                | <i>Cost</i>    | Luas permukaan atap mempengaruhi jumlah panas yang diserap bangunan. Semakin luas atap, semakin besar potensi penyerapan panas.                                        |
| 6.  | Luas Permukaan Jalan               | <i>Cost</i>    | Jalan yang beraspal menyerap lebih banyak panas. Semakin luas permukaan jalan, semakin tinggi suhu permukaan jalan tersebut.                                           |
| 7.  | Albedo Permukaan Dinding           | <i>Benefit</i> | Mengukur seberapa besar kemampuan dinding memantulkan panas matahari. Semakin tinggi albedo, semakin banyak panas yang dipantulkan dan semakin rendah suhu dinding.    |
| 8.  | Albedo Permukaan Atap              | <i>Benefit</i> | Mengukur kemampuan atap memantulkan panas. Semakin tinggi albedo, semakin banyak panas yang dipantulkan oleh atap, sehingga mengurangi efek pemanasan.                 |
| 9.  | Albedo Permukaan Jalan             | <i>Benefit</i> | Mengukur kemampuan jalan dalam memantulkan panas matahari. Semakin tinggi albedo, semakin banyak panas yang dipantulkan dan menurunkan suhu permukaan jalan.           |
| 10. | Skala Taman                        | <i>Benefit</i> | Mengacu pada luas dan persebaran taman di suatu kawasan. Semakin besar skala taman, semakin baik untuk menurunkan suhu lingkungan sekitar.                             |
| 11. | Skala Tanaman Koridor              | <i>Benefit</i> | Mengukur persebaran tanaman di sepanjang koridor atau jalan. Semakin besar skala tanaman koridor, semakin efektif dalam mengurangi suhu lingkungan.                    |
| 12. | Skala Tanaman Penutup Lahan        | <i>Benefit</i> | Mengukur luas lahan yang tertutup oleh vegetasi. Semakin luas penutup lahan oleh tanaman, semakin besar kontribusi dalam menurunkan suhu.                              |
| 13. | Albedo Skala Taman                 | <i>Benefit</i> | Mengukur kemampuan taman memantulkan panas matahari. Taman dengan albedo tinggi dapat mengurangi suhu permukaan lebih efektif.                                         |
| 14. | Albedo Skala Tanaman Koridor       | <i>Benefit</i> | Mengukur kemampuan tanaman di koridor untuk memantulkan panas. Semakin tinggi albedo, semakin baik tanaman koridor dalam mengurangi suhu di sepanjang jalan.           |
| 15. | Albedo Skala Tanaman Penutup Lahan | <i>Benefit</i> | Mengukur seberapa besar kemampuan tanaman penutup lahan memantulkan panas matahari. Semakin tinggi albedo, semakin besar kemampuan tanaman menurunkan suhu lingkungan. |

### 3.4 Alternatif dan Kriteria

Hasil dari perhitungan metode TOPSIS akan dimanfaatkan untuk menyusun data pola yang mendasari evaluasi dan pengambilan keputusan dalam mitigasi *Urban Heat Island*. Perhitungan dalam eksperimen ini mencakup tahap-tahap perhitungan manual metode TOPSIS, yang terdiri dari normalisasi data, penentuan bobot kriteria, perhitungan solusi ideal positif dan negatif, serta penilaian jarak dari solusi ideal. Setiap tahap dalam proses ini akan diuraikan secara rinci untuk memberikan panduan yang jelas dalam penerapan metode TOPSIS secara manual, serta untuk memastikan bahwa hasil yang diperoleh dapat diandalkan untuk analisis lebih lanjut dan keputusan strategis terkait mitigasi *Urban Heat Island*.

#### 3.4.1 Membuat Matriks Keputusan

Matriks keputusan digunakan sebagai dasar untuk analisis mitigasi *Urban Heat Island*. Matriks ini mencakup berbagai variabel penting untuk setiap kawasan, seperti Suhu Udara, Kualitas Udara, Kenyamanan Termal, serta ukuran fisik dan reflektif seperti Luas Permukaan Dinding, Atap, Jalan, dan Reflektisitas permukaan. Data ini juga mencakup Skala Taman dan Skala Tanaman di setiap kawasan. Matriks ini memberikan gambaran menyeluruh yang diperlukan untuk mengevaluasi dan membandingkan efektivitas mitigasi *Urban Heat Island* berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan. Tabel 3.4 merupakan matriks keputusan wilayah Perumahan dan Tabel 3.5 wilayah Permukiman yang digunakan untuk mitigasi *Urban Heat Island*.

Tabel 3.5 Matriks Keputusan Wilayah Perumahan

| No. | Kriteria                           | Kawasan |        |        |        |
|-----|------------------------------------|---------|--------|--------|--------|
|     |                                    | PR1     | PR2    | PR3    | PR4    |
| 1.  | Suhu Udara                         | 3       | 2,46   | 2,69   | 2,95   |
| 2.  | Kualitas Udara                     | 2,67    | 3,08   | 3,14   | 2,7    |
| 3.  | Kenyamanan Termal                  | 3,43    | 3,73   | 3,97   | 3,5    |
| 4.  | Luas Permukaan Dinding (m2)        | 26,303  | 24,158 | 34,77  | 34,013 |
| 5.  | Luas Permukaan Atap (m2)           | 42,372  | 36,776 | 32,778 | 47,169 |
| 6.  | Luas Permukaan Jalan (m2)          | 14,215  | 14,463 | 12,045 | 13,961 |
| 7.  | Albedo Permukaan Dinding           | 0,42    | 0,55   | 0,42   | 0,55   |
| 8.  | Albedo Permukaan Atap              | 0,26    | 0,26   | 0,26   | 0,26   |
| 9.  | Albedo Permukaan Jalan             | 0,19    | 0,19   | 0,19   | 0,19   |
| 10. | Skala Taman (m2)                   | 1       | 540    | 792    | 504    |
| 11. | Skala Tanaman Koridor (m2)         | 1       | 965    | 1      | 1      |
| 12. | Skala Tanaman Penutup Lahan (m2)   | 1       | 1      | 1      | 1      |
| 13. | Albedo Skala Taman                 | 0,2     | 0,2    | 0,2    | 0,2    |
| 14. | Albedo Skala Tanaman Koridor       | 0,2     | 0,2    | 0,2    | 0,2    |
| 15. | Albedo Skala Tanaman Penutup Lahan | 0,2     | 0,2    | 0,2    | 0,2    |

Tabel 3.6 Matriks Keputusan Wilayah Permukiman

| No. | Kriteria                           | Kawasan |        |        |        |
|-----|------------------------------------|---------|--------|--------|--------|
|     |                                    | PK1     | PK2    | PK3    | PK5    |
| 1.  | Suhu Udara                         | 3,44    | 3,35   | 3,48   | 3,52   |
| 2.  | Kualitas Udara                     | 3,31    | 2,85   | 2,97   | 3,16   |
| 3.  | Kenyamanan Termal                  | 3,81    | 3,95   | 3,74   | 3,87   |
| 4.  | Luas Permukaan Dinding (m2)        | 29,198  | 20,546 | 34,331 | 26,572 |
| 5.  | Luas Permukaan Atap (m2)           | 41,354  | 30,633 | 45,183 | 39,057 |
| 6.  | Luas Permukaan Jalan (m2)          | 5,753   | 4,292  | 7,328  | 4,648  |
| 7.  | Albedo Permukaan Dinding           | 0,55    | 0,55   | 0,42   | 0,42   |
| 8.  | Albedo Permukaan Atap              | 0,26    | 0,26   | 0,26   | 0,26   |
| 9.  | Albedo Permukaan Jalan             | 0,19    | 0,19   | 0,19   | 0,19   |
| 10. | Skala Taman (m2)                   | 1       | 1      | 1      | 1      |
| 11. | Skala Tanaman Koridor (m2)         | 415     | 101    | 86     | 53     |
| 12. | Skala Tanaman Penutup Lahan (m2)   | 1       | 1      | 1      | 1      |
| 13. | Albedo Skala Taman                 | 0,2     | 0,2    | 0,2    | 0,2    |
| 14. | Albedo Skala Tanaman Koridor       | 0,2     | 0,2    | 0,2    | 0,2    |
| 15. | Albedo Skala Tanaman Penutup Lahan | 0,2     | 0,2    | 0,2    | 0,2    |

### 3.4.2 Matriks Normalisasi

Setelah membuat matriks keputusan, tahap selanjutnya yaitu membuat normalisasi data. Proses normalisasi dilakukan untuk mengubah data asli menjadi skala yang seragam, sehingga setiap kriteria dapat dibandingkan secara proporsional tanpa adanya bias dari perbedaan satuan atau skala antar variabel.

Berikut ini adalah perhitungan yang digunakan untuk mencari Normalisasi dalam perhitungan TOPSIS yang dapat dihitung dengan Persamaan (2.2):

$$Normalisasi_{K1 PR1} = \frac{3}{\sqrt{3^2 + 2.46^2 + 2.69^2 + 2.95^2}} = 0.538901$$

$$Normalisasi_{K1 PR2} = \frac{2.46}{\sqrt{3^2 + 2.46^2 + 2.69^2 + 2.95^2}} = 0.441899$$

$$Normalisasi_{K1 PR3} = \frac{2.69}{\sqrt{3^2 + 2.46^2 + 2.69^2 + 2.95^2}} = 0.483215$$

$$Normalisasi_{K1 PR4} = \frac{2.95}{\sqrt{3^2 + 2.46^2 + 2.69^2 + 2.95^2}} = 0.529919$$

Adapun untuk hasil perhitungan manual tahap Normalisasi secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 3.6 untuk wilayah Perumahan dan Tabel 3.7 untuk wilayah Permukiman.

Tabel 3.7 Normalisasi Kawasan Perumahan

| No. | Kriteria                           | Kawasan  |          |          |          |
|-----|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
|     |                                    | PR1      | PR2      | PR3      | PR4      |
| 1.  | Suhu Udara                         | 0,538901 | 0,441899 | 0,483215 | 0,529919 |
| 2.  | Kualitas Udara                     | 0,459493 | 0,530051 | 0,540377 | 0,464655 |
| 3.  | Kenyamanan Termal                  | 0,468115 | 0,509058 | 0,541813 | 0,477668 |
| 4.  | Luas Permukaan Dinding (m2)        | 0,435891 | 0,400344 | 0,576205 | 0,56366  |
| 5.  | Luas Permukaan Atap (m2)           | 0,527709 | 0,458015 | 0,408223 | 0,587452 |
| 6.  | Luas Permukaan Jalan (m2)          | 0,518631 | 0,527679 | 0,439459 | 0,509364 |
| 7.  | Albedo Permukaan Dinding           | 0,429153 | 0,561986 | 0,429153 | 0,561986 |
| 8.  | Albedo Permukaan Atap              | 0,5      | 0,5      | 0,5      | 0,5      |
| 9.  | Albedo Permukaan Jalan             | 0,5      | 0,5      | 0,5      | 0,5      |
| 10. | Skala Taman (m2)                   | 0,000923 | 0,498617 | 0,731304 | 0,465376 |
| 11. | Skala Tanaman Koridor (m2)         | 0,001036 | 0,999998 | 0,001036 | 0,001036 |
| 12. | Skala Tanaman Penutup Lahan (m2)   | 0,5      | 0,5      | 0,5      | 0,5      |
| 13. | Albedo Skala Taman                 | 0,5      | 0,5      | 0,5      | 0,5      |
| 14. | Albedo Skala Tanaman Koridor       | 0,5      | 0,5      | 0,5      | 0,5      |
| 15. | Albedo Skala Tanaman Penutup Lahan | 0,5      | 0,5      | 0,5      | 0,5      |

Tabel 3.8 Normalisasi Kawasan Perkampungan

| No. | Kriteria                           | Kawasan  |          |          |          |
|-----|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
|     |                                    | PK1      | PK2      | PK3      | PK5      |
| 1.  | Suhu Udara                         | 0,498829 | 0,485778 | 0,504629 | 0,51043  |
| 2.  | Kualitas Udara                     | 0,537767 | 0,463032 | 0,482528 | 0,513396 |
| 3.  | Kenyamanan Termal                  | 0,495671 | 0,513884 | 0,486564 | 0,503477 |
| 4.  | Luas Permukaan Dinding (m2)        | 0,519463 | 0,365535 | 0,610784 | 0,472743 |
| 5.  | Luas Permukaan Atap (m2)           | 0,524542 | 0,388555 | 0,573109 | 0,495406 |
| 6.  | Luas Permukaan Jalan (m2)          | 0,510855 | 0,381121 | 0,650712 | 0,412733 |
| 7.  | Albedo Permukaan Dinding           | 0,561986 | 0,561986 | 0,429153 | 0,429153 |
| 8.  | Albedo Permukaan Atap              | 0,5      | 0,5      | 0,5      | 0,5      |
| 9.  | Albedo Permukaan Jalan             | 0,5      | 0,5      | 0,5      | 0,5      |
| 10. | Skala Taman (m2)                   | 0,5      | 0,5      | 0,5      | 0,5      |
| 11. | Skala Tanaman Koridor (m2)         | 0,945551 | 0,230122 | 0,195946 | 0,120757 |
| 12. | Skala Tanaman Penutup Lahan (m2)   | 0,5      | 0,5      | 0,5      | 0,5      |
| 13. | Albedo Skala Taman                 | 0,5      | 0,5      | 0,5      | 0,5      |
| 14. | Albedo Skala Tanaman Koridor       | 0,5      | 0,5      | 0,5      | 0,5      |
| 15. | Albedo Skala Tanaman Penutup Lahan | 0,5      | 0,5      | 0,5      | 0,5      |

### 3.4.3 Normalisasi Terbobot

Setelah menghitung nilai normalisasi, selanjutnya adalah menghitung normalisasi terbobot yang digunakan untuk menimbang setiap kriteria berdasarkan bobot yang telah ditentukan sebelumnya. Matriks normalisasi terbobot menyajikan hasil normalisasi terbobot untuk beberapa kawasan, mencakup berbagai kriteria. Nilai-nilai ini diperoleh dengan mengalikan hasil normalisasi awal dengan bobot masing-masing kriteria, sesuai dengan tingkat kepentingannya dalam mitigasi *Urban Heat Island*. Sehingga normalisasi terbobot ini memungkinkan perbandingan yang lebih akurat antar kawasan, sehingga setiap variabel diperhitungkan sesuai dengan pengaruhnya terhadap kondisi lingkungan urban dan efektivitas mitigasi *Urban Heat Island*. Normalisasi data terbobot dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.3).

$$\text{Normalisasi Terbobot}_{K1\ PR1} = 0.538901 \times 0.032 = 0.017245$$

$$\text{Normalisasi Terbobot}_{K1\ PR2} = 0.441899 \times 0.032 = 0.014141$$

$$\text{Normalisasi Terbobot}_{K1 PR3} = 0.483215 \times 0.032 = 0.015463$$

$$\text{Normalisasi Terbobot}_{K1 PR4} = 0.529919 \times 0.032 = 0.016957$$

Adapun untuk hasil perhitungan manual tahap normalisasi terbobot secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 3.8 untuk wilayah Perumahan dan Tabel 3.9 untuk wilayah Permukiman.

Tabel 3.9 Normalisasi Terbobot Kawasan Perumahan

| No. | Kriteria                           | Kawasan  |          |          |          |
|-----|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
|     |                                    | PR1      | PR2      | PR3      | PR4      |
| 1.  | Suhu Udara                         | 0,017245 | 0,014141 | 0,015463 | 0,016957 |
| 2.  | Kualitas Udara                     | 0,011487 | 0,013251 | 0,013509 | 0,011616 |
| 3.  | Kenyamanan Termal                  | 0,008894 | 0,009672 | 0,010294 | 0,009076 |
| 4.  | Luas Permukaan Dinding (m2)        | 0,006102 | 0,005605 | 0,008067 | 0,007891 |
| 5.  | Luas Permukaan Atap (m2)           | 0,004749 | 0,004122 | 0,003674 | 0,005287 |
| 6.  | Luas Permukaan Jalan (m2)          | 0,002075 | 0,002111 | 0,001758 | 0,002037 |
| 7.  | Albedo Permukaan Dinding           | 0,017166 | 0,022479 | 0,017166 | 0,022479 |
| 8.  | Albedo Permukaan Atap              | 0,0285   | 0,0285   | 0,0285   | 0,0285   |
| 9.  | Albedo Permukaan Jalan             | 0,024    | 0,024    | 0,024    | 0,024    |
| 10. | Skala Taman (m2)                   | 0,000204 | 0,110194 | 0,161618 | 0,102848 |
| 11. | Skala Tanaman Koridor (m2)         | 0,00016  | 0,154    | 0,00016  | 0,00016  |
| 12. | Skala Tanaman Penutup Lahan (m2)   | 0,0605   | 0,0605   | 0,0605   | 0,0605   |
| 13. | Albedo Skala Taman                 | 0,049    | 0,049    | 0,049    | 0,049    |
| 14. | Albedo Skala Tanaman Koridor       | 0,041    | 0,041    | 0,041    | 0,041    |
| 15. | Albedo Skala Tanaman Penutup Lahan | 0,034    | 0,034    | 0,034    | 0,034    |

Tabel 3.10 Normalisasi Terbobot Kawasan Permukiman

| No. | Kriteria                           | Kawasan  |          |          |          |
|-----|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
|     |                                    | PK1      | PK2      | PK3      | PK5      |
| 1.  | Suhu Udara                         | 0,015963 | 0,015545 | 0,016148 | 0,016334 |
| 2.  | Kualitas Udara                     | 0,013444 | 0,011576 | 0,012063 | 0,012835 |
| 3.  | Kenyamanan Termal                  | 0,009418 | 0,009764 | 0,009245 | 0,009566 |
| 4.  | Luas Permukaan Dinding (m2)        | 0,007272 | 0,005117 | 0,008551 | 0,006618 |
| 5.  | Luas Permukaan Atap (m2)           | 0,004721 | 0,003497 | 0,005158 | 0,004459 |
| 6.  | Luas Permukaan Jalan (m2)          | 0,002043 | 0,001524 | 0,002603 | 0,001651 |
| 7.  | Albedo Permukaan Dinding           | 0,068    | 0,068    | 0,051927 | 0,051927 |
| 8.  | Albedo Permukaan Atap              | 0,1105   | 0,1105   | 0,1105   | 0,1105   |
| 9.  | Albedo Permukaan Jalan             | 0,077    | 0,077    | 0,077    | 0,077    |
| 10. | Skala Taman (m2)                   | 0,0285   | 0,0285   | 0,0285   | 0,0285   |
| 11. | Skala Tanaman Koridor (m2)         | 0,045386 | 0,011046 | 0,009405 | 0,005796 |
| 12. | Skala Tanaman Penutup Lahan (m2)   | 0,02     | 0,02     | 0,02     | 0,02     |
| 13. | Albedo Skala Taman                 | 0,049    | 0,049    | 0,049    | 0,049    |
| 14. | Albedo Skala Tanaman Koridor       | 0,041    | 0,041    | 0,041    | 0,041    |
| 15. | Albedo Skala Tanaman Penutup Lahan | 0,034    | 0,034    | 0,034    | 0,034    |

### 3.4.4 Matriks Solusi Ideal Positif dan Negatif

Tahap selanjutnya yaitu menentukan matriks solusi ideal positif dan negatif yang akan digunakan untuk menentukan sejauh mana alternatif yang dievaluasi mendekati kondisi terbaik (solusi ideal positif) dan menghindari kondisi terburuk (solusi ideal negatif). Nilai maksimum (solusi ideal positif) mewakili kondisi yang paling diinginkan, di mana setiap kriteria *benefit* mencapai nilai tertinggi, sementara kriteria *cost* mencapai nilai terendah. Perhitungan solusi ideal ini penting untuk evaluasi alternatif kawasan, karena nantinya akan digunakan untuk mengukur jarak setiap alternatif terhadap solusi ideal positif dan negatif, sehingga menghasilkan nilai preferensi yang menunjukkan kawasan mana yang paling sesuai untuk mitigasi *Urban Heat Island*. Solusi idela positif dan negatif dapat dicari dengan menggunakan Persamaan (2.4) dan (2.5).

Karena kriteria 1 yaitu suhu termasuk dalam kategori *cost* maka nilai MAX atau solusi ideal positif diperoleh dengan mencari nilai terkecil yaitu di dapatkan 0.014141 dan begitu sebaliknya untuk mencari nilai MIN atau solusi ideal negatif dapat diperoleh dengan mencari nilai terbesar yaitu 0.017245. Adapun untuk hasil perhitungan manual tahap solusi ideal positif dan negatif secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 3.10 untuk kawasan Perumahan dan Tabel 3.11 merupakan hasil untuk wilayah Permukiman.

Tabel 3.11 Matriks Solusi Ideal untuk Wilayah Perumahan

| No. | MAX      | MIN      |
|-----|----------|----------|
| 1.  | 0,014141 | 0,017245 |
| 2.  | 0,011487 | 0,013509 |
| 3.  | 0,010294 | 0,008894 |
| 4.  | 0,005605 | 0,008067 |
| 5.  | 0,003674 | 0,005287 |
| 6.  | 0,001758 | 0,002111 |
| 7.  | 0,022479 | 0,017166 |
| 8.  | 0,0285   | 0,0285   |
| 9.  | 0,024    | 0,024    |
| 10. | 0,161618 | 0,000204 |
| 11. | 0,154    | 0,00016  |
| 12. | 0,0605   | 0,0605   |
| 13. | 0,049    | 0,049    |
| 14. | 0,041    | 0,041    |
| 15. | 0,034    | 0,034    |

Tabel 3.12 Matriks Solusi Ideal untuk Wilayah Permukiman

| No. | MAX      | MIN      |
|-----|----------|----------|
| 1.  | 0,015545 | 0,016334 |
| 2.  | 0,011576 | 0,013444 |
| 3.  | 0,009764 | 0,009245 |
| 4.  | 0,005117 | 0,008551 |
| 5.  | 0,003497 | 0,005158 |
| 6.  | 0,001524 | 0,002603 |
| 7.  | 0,068    | 0,051927 |
| 8.  | 0,1105   | 0,1105   |
| 9.  | 0,077    | 0,077    |
| 10. | 0,0285   | 0,0285   |
| 11. | 0,045386 | 0,005796 |
| 12. | 0,02     | 0,02     |
| 13. | 0,049    | 0,049    |
| 14. | 0,041    | 0,041    |
| 15. | 0,034    | 0,034    |

### 3.4.5 Matriks Jarak Solusi Ideal Positif dan Negatif

Perhitungan jarak solusi ideal positif ( $D^+$ ) dan negatif ( $D^-$ ) pada metode TOPSIS memberikan indikasi seberapa dekat setiap alternatif dengan kondisi terbaik atau terburuk. Nilai  $D^+$  yang lebih kecil menunjukkan bahwa alternatif tersebut lebih mendekati solusi ideal positif, yaitu kondisi optimal yang diharapkan. Sebaliknya, nilai  $D^-$  yang lebih besar menunjukkan bahwa alternatif tersebut menjauh dari solusi ideal negatif, yang merepresentasikan kondisi yang tidak

diinginkan. Melalui perbandingan jarak ini dapat dinilai seberapa efektif setiap alternatif dalam memenuhi kriteria yang diinginkan, sekaligus menghindari kondisi yang paling tidak menguntungkan, sehingga membantu dalam menentukan alternatif yang paling tepat dalam mitigasi *Urban Heat Island*. Untuk mencari jarak solusi ideal positif dan negatif dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.6) dan (2.7).

$$D +_{PR1} = \sqrt{\begin{aligned} &((0.141 - 0.172)^2) + ((0.011 - 0.011)^2) + ((0.010 - 0.008)^2) + \\ &((0.005 - 0.006)^2) + ((0.003 - 0.004)^2) + ((0.001 - 0.002)^2) + \\ &((0.022 - 0.017)^2) + ((0.028 - 0.028)^2) + ((0.024 - 0.024)^2) + \\ &((0.161 - 0.0002)^2) + ((0.154 - 0.0002)^2) + ((0.06 - 0.06)^2) + \\ &((0.049 - 0.049)^2) + ((0.041 - 0.041)^2) + ((0.034 - 0.034)^2) \end{aligned}}$$

$$D +_{PR1} = 0.223075$$

$$D +_{PR1} = \sqrt{\begin{aligned} &((0.172 - 0.017)^2) + ((0.011 - 0.013)^2) + ((0.008 - 0.008)^2) + \\ &((0.006 - 0.008)^2) + ((0.004 - 0.005)^2) + ((0.002 - 0.002)^2) + \\ &((0.017 - 0.017)^2) + ((0.028 - 0.028)^2) + ((0.024 - 0.024)^2) + \\ &((0.0002 - 0.0002)^2) + ((0.0002 - 0.0001)^2) + ((0.06 - 0.06)^2) + \\ &((0.049 - 0.049)^2) + ((0.041 - 0.041)^2) + ((0.034 - 0.034)^2) \end{aligned}}$$

$$D +_{PR1} = 0.00287$$

Berikut ini adalah hasil perhitungan manual untuk mencari jarak solusi ideal positif dan negatif yang dapat dilihat pada Tabel 3.12 untuk wilayah Perumahan dan wilayah Permukiman.

Tabel 3.13 Matriks Jarak Solusi Ideal untuk Wilayah Perumahan

| No. | Kawasan | D+       | D-       |
|-----|---------|----------|----------|
| 1.  | PR1     | 0,223075 | 0,00287  |
| 2.  | PR2     | 0,051461 | 0,189237 |
| 3.  | PR3     | 0,153971 | 0,161439 |
| 4.  | PR4     | 0,164736 | 0,1028   |
| 5.  | PK1     | 0,003193 | 0,042755 |
| 6.  | PK2     | 0,034341 | 0,017492 |
| 7.  | PK3     | 0,039618 | 0,003869 |
| 8.  | PK4     | 0,042792 | 0,002367 |

### 3.4.6 Nilai Preferensi

Nilai preferensi pada metode TOPSIS merepresentasikan peringkat dari setiap alternatif dalam kaitannya dengan solusi ideal yang menunjukkan seberapa dekat setiap alternatif dengan kondisi ideal positif, dengan nilai preferensi yang lebih tinggi menandakan alternatif yang lebih optimal. Nilai preferensi dapat dicari dengan menggunakan Persamaan (2.8).

$$Preverensi_{PR1} = \frac{0.00287}{0.00287 + 0.223075} = 0.012703179$$

$$Preverensi_{PR2} = \frac{0.189237}{0.189237 + 0.051461} = 0.786200323$$

$$Preverensi_{PR3} = \frac{0.161439}{0.161439 + 0.153971} = 0.511838642$$

$$Preverensi_{PR4} = \frac{0.1028}{0.1028 + 0.164736} = 0.384245679$$

Tabel 3.14 menunjukkan hasil perhitungan preferensi untuk wilayah Perumahan dan wilayah Permukiman.

Tabel 3.14 Nilai Preferensi Kawasan Perumahan

| No. | Kawasan | Preferensi  |
|-----|---------|-------------|
| 1.  | PR1     | 0,012703179 |
| 2.  | PR2     | 0,786200323 |
| 3.  | PR3     | 0,511838642 |
| 4.  | PR4     | 0,384245679 |
| 5.  | PK1     | 0,930506    |
| 6.  | PK2     | 0,337477    |
| 7.  | PK3     | 0,088963    |
| 8.  | PK4     | 0,052423    |

### 3.5 Normalisasi Preverensi

Setelah nilai preferensi dihitung, langkah selanjutnya adalah melakukan normalisasi terhadap nilai preferensi tersebut. Nilai Preferensi dinormalisasikan terhadap *range* solusi mitigasi yang dapat di lihat pada Tabel 3.15. Normalisasi ini bertujuan untuk mengubah nilai preferensi menjadi skala yang lebih seragam, sehingga memudahkan perbandingan antar alternatif. Normalisasi ini dihitung dengan menggunakan rumus min-max *normalization* pada persamaan (3.1).

$$C'_j = \frac{(C_j - \min)}{(\max - \min)} \quad (3.1)$$

Dalam proses normalisasi,  $C'_j$  merupakan nilai yang telah dinormalisasi, yaitu nilai yang telah diubah agar berada dalam rentang yang konsisten. Nilai asli sebelum dinormalisasi ditunjukkan dengan  $C_j$ . Nilai *min* adalah nilai minimum dalam Tabel (3.15), yang menunjukkan batas bawah dari rentang data yang ada, sementara *max* adalah nilai maksimum dalam Tabel (3.15), yang menunjukkan batas atas dari rentang tersebut.

Tabel 3.15 *Range Albedo*

|          |               |             |
|----------|---------------|-------------|
| Material | Atap          | 0,13 – 0,40 |
|          | Dinding       | 0,42 – 0,72 |
|          | Jalan         | 0,05 – 0,05 |
| Vegetasi | Penutup Lahan | 0,1 – 0,18  |
|          | Koridor       | 0,11 – 0,2  |
|          | Taman         | 0,2 – 0,3   |

Dengan menggunakan metode min-max *normalization*, nilai preferensi yang awalnya memiliki rentang berbeda dapat diubah menjadi nilai yang berada dalam skala yang konsisten. Normalisasi ini membantu memastikan bahwa setiap nilai preferensi memiliki bobot yang proporsional dan dapat dibandingkan dengan lebih

mudah dan adil. Melalui proses ini, hasil evaluasi akan lebih akurat dan dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai alternatif mana yang mendekati solusi ideal, sehingga mempermudah pengambilan keputusan yang optimal. Tabel 3.16 menunjukkan hasil normalisasi nilai preferensi yang telah dilakukan.

Tabel 3.16 Hasil Normalisasi Preferensi

| No | Kawasan | Normalisasi Preferensi Material | Normalisasi Preferensi Vegetasi |
|----|---------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1. | PR1     | -0,05                           | -0,41                           |
| 2. | PR2     | 1,10                            | 3,43                            |
| 3. | PR3     | 0,69                            | 2,06                            |
| 4. | PR4     | 0,50                            | 1,42                            |
| 5. | PK1     | 1,31                            | 4,15                            |
| 6. | PK2     | 0,43                            | 1,18                            |
| 7. | PK3     | 0,06                            | -0,06                           |
| 8. | PK4     | 0,01                            | -0,22                           |

### 3.6 Implementasi Fuzzy

Proses Fuzzy Mamdani digunakan untuk mengolah data berbasis logika fuzzy guna menghasilkan keputusan yang lebih fleksibel dan mendekati kondisi nyata. Metode ini memungkinkan sistem untuk menangani ketidakpastian dengan menentukan tingkat keanggotaan suatu variabel sebelum menghasilkan output yang optimal.

#### 3.6.1 Fuzzyfikasi

Diberikan dua variabel input pada kawasan PR3:

- Preferensi Material = 0.69
- Preferensi Vegetasi = 2.06

Nilai ini kemudian dikonversi ke dalam derajat keanggotaan berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditetapkan:

Material berada di antara kategori Sedang dan Tinggi.

- Derajat keanggotaan Material Sedang

$$\mu_{sedang} = \frac{0.7 - 0.69}{0.7 - 0.425} = 0.036$$

- b. Derajat keanggotaan Material Tinggi

$$\mu_{tinggi} = \frac{0.69 - 0.5}{0.8 - 0.5} = 0.49$$

- c. Vegetasi berada dalam kategori Tinggi dengan derajat keanggotaan penuh:

$$\mu_{tinggi} = \frac{2.06 - 1.5}{2.825 - 1.5} = 0.42$$

### 3.6.2 Evaluasi Aturan Fuzzy (*Rule Evaluation*)

Selanjutnya, aturan fuzzy diterapkan dengan metode inferensi Mamdani, menggunakan operator MIN untuk menentukan nilai aktivasi setiap aturan.

- a. Rule 1

Jika Material Sedang (0.036) dan Vegetasi Tinggi (0.42), Maka

- Material: Perbaikan albedo atap
- Vegetasi: Perbaikan penutup koridor

$$\text{Derajat aktivasi} = \min(0.036, 0.42) = 0.036$$

- b. Rule 2

Jika Material Sedang (0.036) dan Vegetasi Tinggi (0.42), Maka

- Material: Perbaikan albedo atap
- Vegetasi: Perbaikan taman

$$\text{Derajat aktivasi} = \min(0.036, 0.42) = 0.03$$

- c. Rule 3

Jika Material Sedang (0.036) dan Vegetasi Tinggi (0.42), Maka

- Material: Perbaikan albedo jalan

- Vegetasi: Perbaikan koridor

$$\text{Derajat aktivasi} = \min(0.036, 0.42) = 0.036$$

d. Rule 4

Jika Material Sedang (0.036) dan Vegetasi Tinggi (0.42), Maka

- Material: Perbaikan albedo jalan
- Vegetasi: Perbaikan taman

$$\text{Derajat aktivasi} = \min(0.036, 0.42) = 0.036$$

e. Rule 5

Jika Material Tinggi (0.49) dan Vegetasi Tinggi (0.42), Maka

- Material: Perbaikan albedo atap
- Vegetasi: Perbaikan koridor

$$\text{Derajat aktivasi} = \min(0.49, 0.42) = 0.42$$

f. Rule 6

Jika Material Tinggi (0.49) dan Vegetasi Tinggi (0.42), Maka

- Material: Perbaikan albedo atap
- Vegetasi: Perbaikan taman

$$\text{Derajat aktivasi} = \min(0.49, 0.42) = 0.42$$

g. Rule 7

Jika Material Tinggi (0.49) dan Vegetasi Tinggi (0.42), Maka

- Material: Perbaikan albedo dinding
- Vegetasi: Perbaikan koridor

$$\text{Derajat aktivasi} = \min(0.49, 0.42) = 0.42$$

h. Rule 8

Jika Material Tinggi (0.49) dan Vegetasi Tinggi (0.42), Maka

- Material: Perbaiki albedo dinding
- Vegetasi: Perbaiki taman

Derajat aktivasi =  $\min(0.49, 0.42) = 0.42$

### 3.6.3 Agregasi

Output dari aturan yang telah dievaluasi dikombinasikan menggunakan metode MAX, sehingga diperoleh hasil sebagai berikut:

a. Kategori Material

- Perbaiki albedo atap muncul pada Rule 1, Rule 2, Rule 5, Rule 6 dengan derajat aktivasi:  $\text{MAX}(0.036, 0.036, 0.42, 0.42) = 0.42$
- Perbaiki albedo jalan muncul pada Rule 3, Rule 4 dengan derajat aktivasi:  $\text{MAX}(0.036, 0.036) = 0.036$
- Perbaiki albedo dinding muncul pada Rule 7, Rule 8 dengan derajat aktivasi:  $\text{MAX}(0.42, 0.42) = 0.42$

b. Kategori Vegetasi

- Perbaiki penutup koridor muncul pada Rule 1, Rule 3, Rule 5, Rule 7 dengan derajat aktivasi:  $\text{MAX}(0.036, 0.036, 0.42, 0.42) = 0.42$
- Perbaiki taman muncul pada Rule 2, Rule 4, Rule 6, Rule 8 dengan derajat aktivasi:  $\text{MAX}(0.036, 0.036, 0.42, 0.42) = 0.42$

### Hasil Agregasi Akhir

- a. Material:
  - Perbaikan albedo atap: 0.42
  - Perbaikan albedo jalan: 0.036
  - Perbaikan albedo dinding: 0.42
- b. Vegetasi:
  - Perbaikan penutup koridor: 0.42
  - Perbaikan taman: 0.4

### 3.6.4 Defuzzifikasi (Metode Centroid)

Setelah dilakukan agregasi, langkah selanjutnya adalah proses defuzzifikasi untuk mendapatkan nilai crisp dari hasil fuzzy. Metode yang digunakan dalam defuzzifikasi ini adalah Metode Centroid (*Center of Gravity, COG*).

#### 3.6.4.1 Menentukan Titik Tengah dan Bobot Keanggotaan Output

Setiap kategori hasil inferensi fuzzy memiliki representasi numerik (nilai crisp) yang ditentukan sebagai berikut:

- a. Kategori Material:
  - Perbaikan albedo atap, Nilai crisp = 0.8
  - Perbaikan albedo jalan, Nilai crisp = 0.6
  - Perbaikan albedo dinding, Nilai crisp = 0.9
- b. Kategori Vegetasi:
  - Perbaikan penutup koridor, Nilai crisp = 0.75
  - Perbaikan taman, Nilai crisp = 0.85

### 3.6.4.2 Perhitungan Centroid

Metode centroid menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Z = \frac{\sum \mu_i \times z_i}{\sum \mu_i} \quad (3.2)$$

Di mana  $\mu_i$  merupakan derajat keanggotaan hasil agregasi, dan  $z_i$  adalah nilai crisp dari masing-masing kategori output:

- a. Defuzzifikasi untuk Material:

$$Z_{material} = \frac{(0.42 \times 0.8) + (0.036 \times 0.6) + (0.42 \times 0.9)}{(0.42 + 0.036 + 0.42)} = 0.84$$

- b. Defuzzifikasi untuk Vegetasi:

$$Z_{vegetasi} = \frac{(0.42 \times 0.75) + (0.42 \times 0.85)}{(0.42 + 0.42)} = 0.8$$

- Material = 0.84 (Perbaikan albedo dinding lebih direkomendasikan)
- Vegetasi = 0.8 (Perbaikan taman lebih direkomendasikan)

Dengan demikian, solusi mitigasi *Urban Heat Island* (UHI) yang dihasilkan untuk kawasan PR3 adalah perbaikan albedo dinding sebagai solusi material dan perbaikan taman sebagai solusi vegetasi.

## 3.7 Implementasi Sistem

Dalam implementasi aplikasi ini, terdapat dua tingkat akses pengguna, yaitu Admin dan Member, yang keduanya diarahkan untuk digunakan oleh Pemerintah Kota Malang. Setiap level memiliki peran dan tampilan yang berbeda, sesuai dengan kebutuhan dan fungsionalitas yang telah ditentukan untuk masing-masing.

Admin merupakan pengguna dengan hak akses yang lebih luas, yang memungkinkan pengelolaan data, pengaturan konfigurasi sistem, serta pemantauan

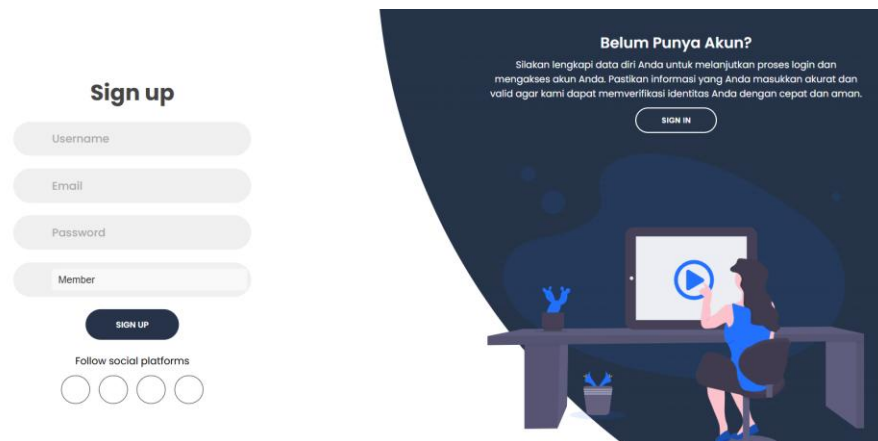
aktivitas pengguna lainnya. Peran Admin umumnya akan diisi oleh pegawai atau staf pemerintah yang bertugas dalam bidang perencanaan dan pengawasan lingkungan kota. Melalui akses ini, Admin dapat melakukan pembaruan informasi terkait mitigasi *Urban Heat Island*, mengatur parameter-parameter penelitian, serta menyesuaikan fitur-fitur aplikasi agar tetap relevan dengan kondisi terkini di Kota Malang.

Sementara itu, Member adalah pengguna dengan akses terbatas yang lebih difokuskan untuk kebutuhan pemantauan atau penggunaan data yang disediakan oleh aplikasi. Pada konteks ini, Member bisa diisi oleh pihak-pihak terkait di lingkungan pemerintah, seperti dinas lingkungan hidup atau dinas perencanaan kota, yang membutuhkan data untuk analisis lebih lanjut atau penyusunan rekomendasi kebijakan. Tampilan antarmuka untuk Member dirancang agar lebih sederhana dan informatif, sehingga memudahkan proses pengambilan keputusan tanpa perlu melakukan perubahan pada konfigurasi sistem.

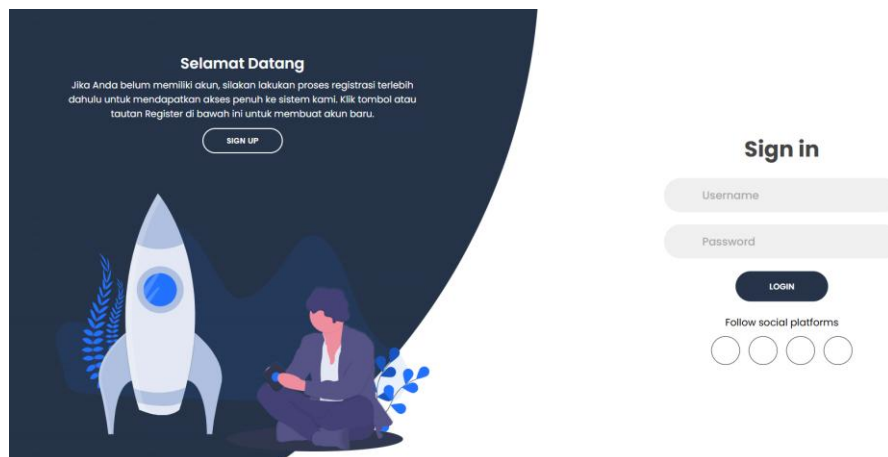
### **3.7.1 Halaman Login dan Register**

Sebelum dapat mengakses fitur login, pengguna diwajibkan untuk terlebih dahulu melakukan proses registrasi. Registrasi ini bertujuan untuk membuat akun pengguna yang akan memudahkan akses ke berbagai fungsi aplikasi sesuai dengan level yang ditentukan, baik sebagai admin atau member. Pengguna baru harus mengisi formulir pendaftaran dengan informasi yang diperlukan seperti *username*, email, dan *password*, serta memilih level akun yang sesuai dengan Gambar 3.3. Setelah akun berhasil terdaftar, pengguna akan diarahkan untuk melakukan login dengan menggunakan *username* dan *password* yang telah didaftarkan seperti pada

Gambar 3.4. Proses ini memastikan bahwa hanya pengguna yang telah terdaftar yang dapat mengakses sistem dan fitur yang tersedia. Dengan cara ini, sistem memastikan bahwa akses ke aplikasi dilakukan dengan kontrol yang tepat, memisahkan fungsi dan tampilan antara level admin dan member sesuai dengan hak akses masing-masing.



Gambar 3.3 Halaman Register

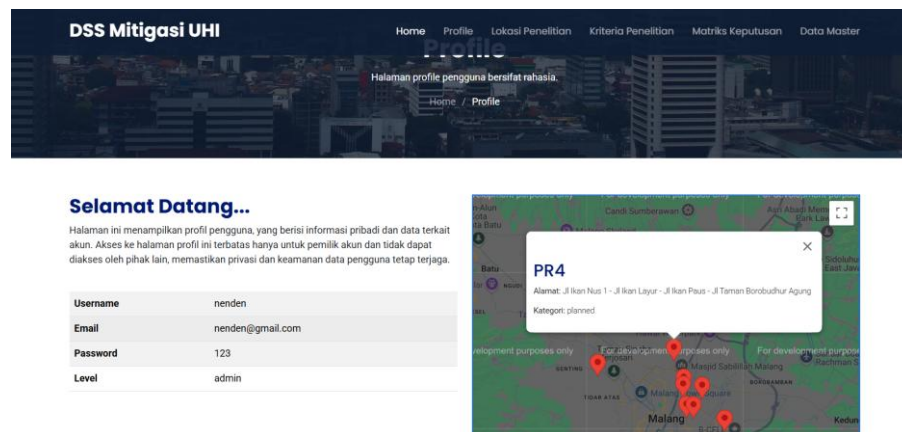


Gambar 3.4 Halaman Login

### 3.7.2 Halaman Profil

Setelah pengguna berhasil melakukan login ke aplikasi, mereka akan diarahkan ke halaman profil yang menyajikan informasi pribadi dan menu

berdasarkan level akses mereka seperti pada Gambar 3.5. Halaman profil ini hanya dapat diakses oleh pengguna yang telah login, seperti yang dikontrol melalui sesi (*session*) PHP. Jika pengguna belum login, mereka akan diminta untuk login terlebih dahulu sebelum mengakses halaman profil.



Gambar 3.5 Halaman Informasi Pengguna

### 3.7.3 Halaman Admin

Pada aplikasi ini, menu navigasi menawarkan berbagai fitur berdasarkan level pengguna. Untuk pengguna biasa, menu yang tersedia meliputi Home, Profil, Wilayah, Kriteria, Matriks Keputusan dan terdapat tambahan menu Data, yang menyediakan akses ke halaman untuk *input* data alternatif, kriteria, dan matriks keputusan. Menu ini memungkinkan admin untuk mengelola dan memperbarui informasi penting dalam sistem, sehingga memastikan bahwa data yang digunakan dalam analisis selalu terkini dan akurat.

Pada halaman Wilayah, admin dapat mengedit daftar wilayah atau menghapus daftar wilayah yang dapat di lihat pada Gambar 3.6.

| DSS Mitigasi UHI                                                                                                                                                                                                                                            |                         |                        |                                                                                                         |        |           |                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------|----------------------------------------------|
| <a href="#">Home</a> <a href="#">Profile</a> <a href="#">Lokasi Penelitian</a> <a href="#">Kriteria Penelitian</a> <a href="#">Matriks Keputusan</a> <a href="#">Data Master</a>                                                                            |                         |                        |                                                                                                         |        |           |                                              |
| ALTERNATIF LOKASI PENELITIAN                                                                                                                                                                                                                                |                         |                        |                                                                                                         |        |           |                                              |
| Data wilayah ini terbagi dalam 8 area, yang terdiri dari 4 kawasan perumahan dan 4 kawasan permukiman. Setiap kawasan memiliki karakteristik yang berbeda, sehingga membutuhkan pendekatan mitigasi UHI yang disesuaikan dengan kondisi lokal masing-masing |                         |                        |                                                                                                         |        |           |                                              |
| No                                                                                                                                                                                                                                                          | Nama Kawasan Alternatif | Koordinat              | Alamat Lokasi                                                                                           | Metode | Kategori  | Aksi                                         |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                           | PR1                     | -7.9558253,112.6526594 | Jl Titan Asri - Jl Tita Raya - Jl Sulfat Agung - Jl Simpang Sulfat Utara                                | Topsis | planned   | <a href="#">Update</a> <a href="#">Hapus</a> |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                           | PR2                     | -7.9431827,112.5941544 | Perum Joyogrand - Jl Jerusalem - Jl Jeddah - Jl Chili - Jl Halmahera - Jl Terusan Joyo Taman Sari       | Topsis | planned   | <a href="#">Update</a> <a href="#">Hapus</a> |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                           | PR3                     | -7.974393,112.6655271  | Jl Danau Panai - Jl Danau Tigi - Jl Danau Sentani Raya                                                  | Topsis | planned   | <a href="#">Update</a> <a href="#">Hapus</a> |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                           | PR4                     | -7.9349225,112.6369252 | Jl Ikan Nus 1 - Jl Ikan Layur - Jl Ikan Paus - Jl Taman Borobudur Agung                                 | Topsis | planned   | <a href="#">Update</a> <a href="#">Hapus</a> |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                           | PK1                     | -7.9666487,112.6480891 | Jl Taman Sulfat 32 - Jl Widias Utara - Jl Widias - Jl Pamali - Jl Digul - Jl Comal - Jl Lusi - Jl Binor | Topsis | unplanned | <a href="#">Update</a> <a href="#">Hapus</a> |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                           | PK2                     | -7.955241,112.642149   | Jl Ciliwung - Jl Cimadur - Jl Citarum                                                                   | Topsis | unplanned | <a href="#">Update</a> <a href="#">Hapus</a> |

Gambar 3.6 Tampilan Admin untuk Halaman Daftar Wilayah Mitigasi

Pada halaman kriteria sama dengan halaman wilayah, admin dapat mengedit dan menghapus daftar kriteria yang dapat di lihat pada Gambar 3.7.

| DSS Mitigasi UHI                                                                                                                                                                                           |                            |               |                 |            |                        |                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------|-----------------|------------|------------------------|-----------------------|
| <a href="#">Home</a> <a href="#">Profile</a> <a href="#">Lokasi Penelitian</a> <a href="#">Kriteria Penelitian</a> <a href="#">Matriks Keputusan</a> <a href="#">Data Master</a>                           |                            |               |                 |            |                        |                       |
| <a href="#">Deskripsi</a> <a href="#">Data Kriteria</a>                                                                                                                                                    |                            |               |                 |            |                        |                       |
| DATA KRITERIA                                                                                                                                                                                              |                            |               |                 |            |                        |                       |
| Berikut ini adalah 15 kriteria utama yang digunakan untuk mengevaluasi berbagai alternatif solusi mitigasi UHI. Kriteria-kriteria ini dirancang untuk mengatasi tantangan suhu tinggi di wilayah perkotaan |                            |               |                 |            |                        |                       |
| No                                                                                                                                                                                                         | Nama Kriteria              | Bobot Planned | Bobot Unplanned | Keterangan | Aksi                   |                       |
| 1                                                                                                                                                                                                          | Suhu Udara                 | 0.032         | 0.032           | cost       | <a href="#">Update</a> | <a href="#">Hapus</a> |
| 2                                                                                                                                                                                                          | Kualitas Udara             | 0.025         | 0.025           | cost       | <a href="#">Update</a> | <a href="#">Hapus</a> |
| 3                                                                                                                                                                                                          | Kenyamanan Termal          | 0.019         | 0.019           | benefit    | <a href="#">Update</a> | <a href="#">Hapus</a> |
| 4                                                                                                                                                                                                          | Luas Permukaan Dinding     | 0.014         | 0.014           | cost       | <a href="#">Update</a> | <a href="#">Hapus</a> |
| 5                                                                                                                                                                                                          | Luas Permukaan Atap        | 0.009         | 0.009           | cost       | <a href="#">Update</a> | <a href="#">Hapus</a> |
| 6                                                                                                                                                                                                          | Luas Permukaan Jalan       | 0.004         | 0.004           | cost       | <a href="#">Update</a> | <a href="#">Hapus</a> |
| 7                                                                                                                                                                                                          | Refleksi Permukaan Dinding | 0.040         | 0.121           | benefit    | <a href="#">Update</a> | <a href="#">Hapus</a> |
| 8                                                                                                                                                                                                          | Refleksi Permukaan Atap    | 0.057         | 0.221           | benefit    | <a href="#">Update</a> | <a href="#">Hapus</a> |

Gambar 3.7 Tampilan Admin untuk Halaman Kriteria Mitigasi

Pada halaman matriks keputusan admin juga dapat mengubah dan menghapus data yang dapat dilihat pada Gambar 3.8.

**MATRIKS KEPUTUSAN**

Di dalam tabel matriks keputusan, terdapat relasi many-to-many antara tabel alternatif dan kriteria. Relasi ini menggambarkan bahwa setiap kawasan (alternatif) dapat dinilai menggunakan berbagai kriteria yang berbeda, sementara setiap kriteria dapat digunakan untuk menilai lebih dari satu kawasan.

1 - 20 Search...

| No | Nama Kawasan | Lokasi Kawasan                                                           | Nama Kriteria          | Nilai  | Aksi                                           |
|----|--------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------|------------------------------------------------|
| 1  | PR1          | Jl Titan Asri - Jl Tita Raya - Jl Sulfat Agung - Jl Simpang Sulfat Utara | Suhu Udara             | 3      | <button>Update</button> <button>Hapus</button> |
| 2  | PR1          | Jl Titan Asri - Jl Tita Raya - Jl Sulfat Agung - Jl Simpang Sulfat Utara | Kualitas Udara         | 2.67   | <button>Update</button> <button>Hapus</button> |
| 3  | PR1          | Jl Titan Asri - Jl Tita Raya - Jl Sulfat Agung - Jl Simpang Sulfat Utara | Kenyamanan Termal      | 3.43   | <button>Update</button> <button>Hapus</button> |
| 4  | PR1          | Jl Titan Asri - Jl Tita Raya - Jl Sulfat Agung - Jl Simpang Sulfat Utara | Luas Permukaan Dinding | 26.303 | <button>Update</button> <button>Hapus</button> |
| 5  | PR1          | Jl Titan Asri - Jl Tita Raya - Jl Sulfat Agung - Jl Simpang Sulfat Utara | Luas Permukaan Atap    | 42.372 | <button>Update</button> <button>Hapus</button> |
| 6  | PR1          | Jl Titan Asri - Jl Tita Raya - Jl Sulfat Agung - Jl Simpang Sulfat Utara | Luas Permukaan Jalan   | 14.215 | <button>Update</button> <button>Hapus</button> |

Gambar 3.8 Halaman Admin untuk Matriks Keputusan

Selain itu admin juga dapat memasukkan data kawasan, kriteria dan matriks keputusan yang dapat di lihat Gambar 3.9, Gambar 3.10, Gambar 3.11.

**ADMIN OSS MITIGASI**

COMPONENTS

- Alternatif
- Kriteria
- Matriks Keputusan
- Profile

### Halaman Input Alternatif

**Form Alternatif**

Nama Kawasan

Koordinat Kawasan

Alamat

Pilih Kategori

Submit

Urban Heat Island    Mitigasi UHI    2024, made with ❤️ by Nendim Nurani    Distributed by UIN Malang

Gambar 3.9 Halaman Admin untuk Memasukkan Data Alternatif

**ADMIN OSS MITIGASI**

COMPONENTS

- Alternatif
- Kriteria
- Matriks Keputusan
- Profile

### Halaman Input Kriteria

**Form Kriteria**

Nama Kriteria

Bobot Planned

Bobot Unplanned

Keterangan

Submit

Urban Heat Island    Mitigasi UHI    2024, made with ❤️ by Nendim Nurani    Distributed by UIN Malang

Gambar 3.10 Halaman Admin untuk Memasukkan Data Kriteria

Gambar 3.11 Halaman Admin untuk Memasukkan Data Matriks Keputusan

### 3.7.4 Halaman Member

Untuk pengguna dengan level member, menu yang dapat diakses mencakup beberapa fitur utama. Pengguna dapat mengunjungi halaman Home untuk melihat halaman utama aplikasi, Profil untuk melihat dan memperbarui informasi akun mereka, Wilayah untuk mengakses data wilayah terkait dengan mitigasi *Urban Heat Island*, Kriteria untuk melihat berbagai kriteria yang digunakan dalam mitigasi *Urban Heat Island*, Matriks Keputusan untuk mengakses data matriks keputusan yang relevan. Fitur-fitur ini dirancang untuk memberikan akses yang komprehensif bagi member dalam berinteraksi dengan aplikasi dan memanfaatkan semua fungsionalitas yang disediakan tanpa mengakses fitur khusus yang hanya tersedia bagi admin. Pada halaman daftar wilayah member dapat melihat sebaran wilayah mitigasi seperti pada Gambar 12.

| ALTERNATIF LOKASI PENELITIAN                                                                                                                                                                                                                                |                         |                        |                                                                                                               |        |           |                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------|--------------------------|
| Data wilayah ini terbagi dalam 8 area, yang terdiri dari 4 kawasan perumahan dan 4 kawasan permukiman. Setiap kawasan memiliki karakteristik yang berbeda, sehingga membutuhkan pendekatan mitigasi UHI yang disesuaikan dengan kondisi lokal masing-masing |                         |                        |                                                                                                               |        |           |                          |
| No                                                                                                                                                                                                                                                          | Nama Kawasan Alternatif | Koordinat              | Alamat Lokasi                                                                                                 | Metode | Kategori  | Aksi                     |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                           | PR1                     | -7.9558253,112.6526594 | Jl Titan Asri - Jl Tita Raya - Jl Sulfat Agung - Jl Simpang Sulfat Utara                                      | Topois | planned   | Tidak Bisa Mengubah Data |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                           | PR2                     | -7.9431827,112.5941544 | Perum Joyogrand - Jl Jerusalem - Jl Jeddah - Jl Chli - Jl Halmahera - Jl Terusan Joyo Taman Sari              | Topois | planned   | Tidak Bisa Mengubah Data |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                           | PR3                     | -7.974993,112.6655271  | Jl Danau Panai - Jl Danau Tigi - Jl Danau Sentani Raya                                                        | Topois | planned   | Tidak Bisa Mengubah Data |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                           | PR4                     | -7.9349225,112.6369252 | Jl Ikan Nus 1 - Jl Ikan Layur - Jl Ikan Paus - Jl Taman Borobudur Agung                                       | Topois | planned   | Tidak Bisa Mengubah Data |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                           | PK1                     | -7.9666487,112.6480891 | Jl Taman Sulfat 32 - Jl Widias Utara - Jl Widias - Jl Pamali - Jl Digul - Jl Comal - Jl Lusi - Jl Binor       | Topois | unplanned | Tidak Bisa Mengubah Data |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                           | PK2                     | -7.955241,112.642149   | Jl Ciliwung - Jl Cimadur - Jl Citarum - Jl Cidurian - Jl Cisdane - Jl Cisdadea - Jl Cimanuk - Jl Citadui - Jl | Topois | unplanned | Tidak Bisa Mengubah Data |

Gambar 3.12 Halaman Member untuk Melihat Daftar Wilayah Mitigasi

Selain itu member juga dapat melihat Kriteria seperti pada Gambar 3.13.

Deskripsi

Data Kriteria

DATA Kriteria

DATA Kriteria

Berikut ini adalah 15 kriteria utama yang digunakan untuk mengevaluasi berbagai alternatif solusi mitigasi UHI. Kriteria-kriteria ini dirancang untuk mengatasi tantangan suhu tinggi di wilayah perkotaan

| No | Nama Kriteria              | Bobot Planned | Bobot Unplanned | Keterangan | Aksi                     |
|----|----------------------------|---------------|-----------------|------------|--------------------------|
| 1  | Suhu Udara                 | 0.032         | 0.032           | cost       | Tidak Bisa Mengubah Data |
| 2  | Kualitas Udara             | 0.025         | 0.025           | cost       | Tidak Bisa Mengubah Data |
| 3  | Kenyamanan Termal          | 0.019         | 0.019           | benefit    | Tidak Bisa Mengubah Data |
| 4  | Luas Permukaan Dinding     | 0.014         | 0.014           | cost       | Tidak Bisa Mengubah Data |
| 5  | Luas Permukaan Atap        | 0.009         | 0.009           | cost       | Tidak Bisa Mengubah Data |
| 6  | Luas Permukaan Jalan       | 0.004         | 0.004           | cost       | Tidak Bisa Mengubah Data |
| 7  | Refleksi Permukaan Dinding | 0.040         | 0.121           | benefit    | Tidak Bisa Mengubah Data |
| 8  | Refleksi Permukaan Atap    | 0.057         | 0.221           | benefit    | Tidak Bisa Mengubah Data |
| 9  | Refleksi Permukaan Jalan   | 0.048         | 0.154           | benefit    | Tidak Bisa Mengubah Data |

Gambar 3.13 Halaman Member untuk Melihat Daftar Kriteria Mitigasi

Selain itu Member juga dapat melihat menu Matriks Keputusan seperti pada Gambar 3.14.

| Matriks Keputusan                                                                                                                                                                                                                                                                                          |              |                                                                          |                            |        |                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------|--------------------------|
| Di dalam tabel matriks keputusan, terdapat relasi many-to-many antara tabel alternatif dan kriteria. Relasi ini menggambarkan bahwa setiap kawasan (alternatif) dapat dinilai menggunakan berbagai kriteria yang berbeda, sementara setiap kriteria dapat digunakan untuk menilai lebih dari satu kawasan. |              |                                                                          |                            |        |                          |
| 1 - 20 Search...                                                                                                                                                                                                                                                                                           |              |                                                                          |                            |        |                          |
| No                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Nama Kawasan | Lokasi Kawasan                                                           | Nama Kriteria              | Nilai  | Aksi                     |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | PR1          | Jl Titan Asri - Jl Tita Raya - Jl Sulfat Agung - Jl Simpang Sulfat Utara | Suhu Udara                 | 3      | Tidak Bisa Mengubah Data |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | PR1          | Jl Titan Asri - Jl Tita Raya - Jl Sulfat Agung - Jl Simpang Sulfat Utara | Kualitas Udara             | 2.67   | Tidak Bisa Mengubah Data |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | PR1          | Jl Titan Asri - Jl Tita Raya - Jl Sulfat Agung - Jl Simpang Sulfat Utara | Kenyamanan Termal          | 3.43   | Tidak Bisa Mengubah Data |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | PR1          | Jl Titan Asri - Jl Tita Raya - Jl Sulfat Agung - Jl Simpang Sulfat Utara | Luas Permukaan Dinding     | 26.303 | Tidak Bisa Mengubah Data |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | PR1          | Jl Titan Asri - Jl Tita Raya - Jl Sulfat Agung - Jl Simpang Sulfat Utara | Luas Permukaan Atap        | 42.372 | Tidak Bisa Mengubah Data |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | PR1          | Jl Titan Asri - Jl Tita Raya - Jl Sulfat Agung - Jl Simpang Sulfat Utara | Luas Permukaan Jalan       | 14.215 | Tidak Bisa Mengubah Data |
| 7                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | PR1          | Jl Titan Asri - Jl Tita Raya - Jl Sulfat Agung - Jl Simpang Sulfat Utara | Refleksi Permukaan Dinding | 0.42   | Tidak Bisa Mengubah Data |

Gambar 3.14 Halaman Member untuk Melihat Matriks Keputusan

User juga dapat melihat menu perhitungan TOPSIS berdasarkan kawasan yang ingin dipilih seperti pada Gambar 3.15, Gambar 3.16, Gambar 3.17.

**PERHITUNGAN TOPSIS**

Perhitungan TOPSIS dilakukan secara efisien dengan memanfaatkan view pada basis data, memungkinkan proses perhitungan yang lebih cepat dan real-time, sehingga sistem ini bersifat dinamis dan memungkinkan pembaruan atau penambahan data dan pemrosesan data secara cepat.

Normalisasi   Solusi Ideal   Jarak Solusi Ideal   Mitigasi

**Normalisasi Data dan Normalisasi Data Terbobot**

| No | Kawasan | Kategori | Nama Kriteria              | Normalisasi Data Planned | Normalisasi Terbobot Planned |
|----|---------|----------|----------------------------|--------------------------|------------------------------|
| 1  | PR1     | planned  | Suhu Udara                 | 0.5389                   | 0.0172                       |
| 2  | PR1     | planned  | Kualitas Udara             | 0.4595                   | 0.0115                       |
| 3  | PR1     | planned  | Kenyamanan Termal          | 0.4681                   | 0.0089                       |
| 4  | PR1     | planned  | Luas Permukaan Dinding     | 0.4359                   | 0.0061                       |
| 5  | PR1     | planned  | Luas Permukaan Atap        | 0.5277                   | 0.0047                       |
| 6  | PR1     | planned  | Luas Permukaan Jalan       | 0.5186                   | 0.0021                       |
| 7  | PR1     | planned  | Refleksi Permukaan Dinding | 0.4292                   | 0.0172                       |
| 8  | PR1     | planned  | Refleksi Permukaan Atap    | 0.5000                   | 0.0285                       |

Gambar 3. 15 Halaman Member untuk Melihat Normalisasi

**PERHITUNGAN TOPSIS**

Perhitungan TOPSIS dilakukan secara efisien dengan memanfaatkan view pada basis data, memungkinkan proses perhitungan yang lebih cepat dan real-time, sehingga sistem ini bersifat dinamis dan memungkinkan pembaruan atau penambahan data dan pemrosesan data secara cepat.

Normalisasi   **Solusi Ideal**   Jarak Solusi Ideal   Mitigasi

**Solusi Ideal**

| No | Nama Kriteria              | Keterangan | Solusi Ideal Positif Data Planned | Solusi Ideal Negatif Planned |
|----|----------------------------|------------|-----------------------------------|------------------------------|
| 1  | Suhu Udara                 | cost       | 0.0141                            | 0.0172                       |
| 2  | Kualitas Udara             | cost       | 0.0115                            | 0.0135                       |
| 3  | Kenyamanan Termal          | benefit    | 0.0103                            | 0.0089                       |
| 4  | Luas Permukaan Dinding     | cost       | 0.0056                            | 0.0081                       |
| 5  | Luas Permukaan Atap        | cost       | 0.0037                            | 0.0053                       |
| 6  | Luas Permukaan Jalan       | cost       | 0.0018                            | 0.0021                       |
| 7  | Refleksi Permukaan Dinding | benefit    | 0.0225                            | 0.0172                       |

Gambar 3.16 Halaman Member untuk Melihat Solusi Ideal

**PERHITUNGAN TOPSIS**

Perhitungan TOPSIS dilakukan secara efisien dengan memanfaatkan view pada basis data, memungkinkan proses perhitungan yang lebih cepat dan real-time, sehingga sistem ini bersifat dinamis dan memungkinkan pembaruan atau penambahan data dan pemrosesan data secara cepat.

Normalisasi   Solusi Ideal   **Jarak Solusi Ideal**   Mitigasi

**Jarak Solusi Ideal Dan Preferensi**

| No | Nama Kawasan | D+ Planned | D- Planned | Nilai Preferensi Planned |
|----|--------------|------------|------------|--------------------------|
| 1  | PR1          | 0.2230     | 0.0029     | 0.013                    |

Gambar 3.17 Halaman Member Nilai Preferensi

**PERHITUNGAN TOPSIS**

Perhitungan TOPSIS dilakukan secara efisien dengan memanfaatkan view pada basis data, memungkinkan proses perhitungan yang lebih cepat dan real-time, sehingga sistem ini bersifat dinamis dan memungkinkan pembaruan atau penambahan data dan pemrosesan data secara cepat.

Normalisasi
Solusi Ideal
Jarak Solusi Ideal
Mitigasi

**Mitigasi UHI**

| No | Nama Kawasan | Preferensi Planned | Material Planned (Output Fuzzy) | Vegetasi Planned (Output Fuzzy) | Mitigasi Planned                                                                                                                                              |
|----|--------------|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | PR1          | 0.013              | 0.415                           | 0.181                           | <div style="text-align: left; padding: 5px;"> Mitigation Material: JALAN (69.68%)<br/> Mitigation Vegetation: PENUTUP LAHAN / VERTICAL GARDEN (30.32%) </div> |

Gambar 3.18 Halaman Member untuk Melihat Solusi Mitigasi

### 3.8 Rencana Pengujian

Pada tahapan ini, dilakukan pengujian terhadap sistem yang dikembangkan untuk memastikan bahwa sistem dapat berjalan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan serta memberikan hasil solusi mitigasi *Urban Heat Island* yang akurat dan dapat diandalkan.

#### 3.8.1 Pengujian *System Usability Scale*

*System Usability Scale* adalah metode standar yang umum digunakan untuk mengukur kegunaan atau *Usability* dari berbagai jenis sistem, seperti perangkat lunak, situs web, hingga perangkat fisik. *System Usability Scale* yang dikembangkan oleh John Brooke pada tahun 1986, menjadi pilihan populer dalam evaluasi *Usability* karena kemudahannya dan keandalannya dalam memberikan hasil yang valid bahkan dengan ukuran sampel yang kecil. *System Usability Scale* terdiri dari sepuluh pernyataan yang mengevaluasi persepsi subyektif pengguna mengenai aspek-aspek penting dalam pengalaman penggunaan sistem, seperti kemudahan, kejelasan, dan kepuasan secara keseluruhan.

Dalam kuesioner *System Usability Scale*, pengguna diminta menilai setiap pernyataan menggunakan skala *Likert* lima poin, dari 1 (sangat tidak setuju) hingga 5 (sangat setuju). Struktur kuesioner menyeimbangkan pernyataan positif dan negatif, dengan pernyataan ganjil berbentuk positif dan pernyataan genap berbentuk negatif, yang membantu mengurangi bias dan memperoleh gambaran menyeluruh tentang pengalaman pengguna. Berikut ini Tabel 3.17 adalah daftar pertanyaan yang akan di gunakan dalam mengevaluasi sistem mitigasi Fenomena *Urban Heat Island*.

Tabel 3.17 Daftar Pertanyaan SUS

| No  | Daftar Pertanyaan                                                                                         |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Saya merasa sistem mitigasi ini dirancang dengan baik untuk mengatasi masalah panas di wilayah perkotaan. |
| 2.  | Saya merasa sistem ini sulit dipahami dan membingungkan.                                                  |
| 3.  | Saya merasa sistem ini mudah dipahami dan diterapkan.                                                     |
| 4.  | Saya merasa banyak hal yang tidak jelas dalam penggunaan sistem ini.                                      |
| 5.  | Fitur-fitur dalam sistem ini saling mendukung dan terintegrasi dengan baik.                               |
| 6.  | Saya merasa perlu waktu lebih lama untuk memahami sistem ini dengan baik.                                 |
| 7.  | Saya yakin banyak pengguna akan mudah memahami cara kerja sistem ini.                                     |
| 8.  | Saya membutuhkan bantuan teknis untuk menggunakan sistem mitigasi ini.                                    |
| 9.  | Saya merasa percaya diri menggunakan sistem ini untuk mitigasi <i>Urban Heat Island</i> .                 |
| 10. | Saya merasa perlu mempelajari banyak hal sebelum menggunakan sistem ini dengan baik.                      |

Dalam proses penilaian menggunakan *System Usability Scale* (SUS), terdapat beberapa aturan yang harus diikuti dalam perhitungan skor. Aturan-aturan ini memastikan bahwa hasil yang diperoleh mencerminkan tingkat kegunaan suatu sistem secara akurat (Pramuditia, 2023). Berikut adalah langkah-langkah yang digunakan dalam proses perhitungan skor SUS (Pramuditia, 2023):

1. Penyesuaian Skor untuk Pertanyaan Ganjil

Untuk setiap pertanyaan dengan nomor ganjil (1, 3, 5, 7, 9), skor yang diberikan oleh responden dikurangi dengan angka 1.

2. Penyesuaian Skor untuk Pertanyaan Genap

Untuk setiap pertanyaan bernomor genap (2, 4, 6, 8, 10), perhitungan dilakukan dengan cara mengurangkan skor tersebut dari angka 5.

### 3. Perhitungan Skor Akhir SUS

Setelah semua skor pertanyaan disesuaikan, nilai-nilai tersebut dijumlahkan. Hasil dari penjumlahan ini kemudian dikalikan dengan faktor 2,5 untuk mendapatkan skor SUS akhir bagi satu responden.

### 4. Perhitungan Rata-rata Skor SUS

Jika terdapat lebih dari satu responden, skor SUS individu dikumpulkan, dijumlahkan, dan kemudian dibagi dengan jumlah total responden untuk memperoleh rata-rata skor SUS secara keseluruhan. Berikut adalah rumus untuk menghitung skor SUS:

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} \quad (3.3)$$

Skor rata-rata *System Usability Scale* (SUS), yang dilambangkan sebagai  $\bar{y}$ , diperoleh dengan membagi total keseluruhan skor SUS dari seluruh responden ( $\sum y$ ) dengan jumlah responden yang berpartisipasi dalam survei ( $n$ ). Nilai  $\bar{y}$  mencerminkan tingkat kegunaan sistem berdasarkan persepsi pengguna. Semakin tinggi skor rata-rata yang diperoleh, semakin baik tingkat kegunaan sistem tersebut.

### 3.8.2 Pengujian Solusi Mitigasi

Setelah pengujian fungsionalitas dilakukan untuk memastikan solusi mitigasi dapat beroperasi dengan baik sesuai spesifikasi, selanjutnya dilakukan pengujian untuk mengukur tingkat akurasi solusi mitigasi tersebut. Dalam hal ini, pengujian akurasi menggunakan metode *Deviation Analysis* dilakukan guna mengevaluasi

tingkat kesalahan dari solusi mitigasi yang diusulkan. *Deviation Analysis* dipilih karena metode ini dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai deviasi rata-rata antara nilai aktual dengan nilai yang diperoleh dari penerapan solusi mitigasi (Dobošová et al., 2022). Dengan menggunakan *Deviation Analysis*, hasil pengujian dapat menunjukkan seberapa efektif solusi mitigasi dalam menekan tingkat kesalahan, sehingga dapat memberikan informasi mengenai keandalan model mitigasi dalam konteks penerapannya pada permasalahan yang dihadapi.

*Deviation Analysis* dilakukan dengan beberapa tahapan untuk mengevaluasi tingkat keberhasilan solusi mitigasi *Urban Heat Island*. Tahapan pertama adalah menentukan target ideal dari seluruh kawasan yang diteliti. Target ideal ini didapatkan dengan menghitung nilai rata-rata dari semua data terkait material dan vegetasi di setiap kawasan. Nilai rata-rata ini kemudian dianggap sebagai target ideal yang ingin dicapai dalam setiap kawasan untuk memastikan bahwa mitigasi *Urban Heat Island* dapat dilakukan secara efektif. Dengan menggunakan nilai rata-rata sebagai target ideal, diharapkan setiap kawasan dapat mendekati standar tersebut, sehingga mitigasi yang dilakukan bisa dinilai konsisten dan merata. Rumus yang digunakan untuk menghitung target ideal dapat dicari dengan menggunakan persamaan (3.4)

$$Target\ Ideal = \frac{\sum_{i=1}^n (Fuzzy\ Material_i + Fuzzy\ Vegetasi_i)}{n} \quad (3.4)$$

Di mana  $n$  adalah jumlah kawasan yang ada,  $Fuzzy\ Material_i$  dan  $Fuzzy\ Vegetasi_i$  adalah nilai fuzzy yang di hasilkan dari masing-masing kawasan. Langkah selanjutnya dalam *Deviation Analysis* adalah menghitung deviasi antara nilai aktual dengan target ideal yang telah ditentukan. Deviasi dihitung untuk

masing-masing kawasan baik untuk aspek material maupun vegetasi, menggunakan rumus *Percentage Deviation* (Djira & Macwan, 2011). Rumus ini mengukur seberapa besar perbedaan antara nilai aktual suatu kawasan dengan target ideal dalam bentuk persentase. Setiap nilai deviasi dihitung menggunakan persamaan (3.5).

$$Deviation (\%) = \frac{|Nilai Fuzzy - Target Ideal|}{Target Ideal} \quad (3.5)$$

Penggunaan rumus ini memungkinkan evaluasi untuk dilakukan terhadap setiap kawasan, sehingga dapat diketahui kawasan mana yang memiliki deviasi terbesar dan mana yang mendekati target ideal. Tujuan dari perhitungan deviasi ini adalah untuk mengetahui seberapa jauh setiap kawasan berada dari target yang diharapkan dan untuk mengidentifikasi area yang memerlukan perhatian khusus dalam penerapan mitigasi.

Setelah deviasi untuk masing-masing kawasan dihitung, tahap berikutnya adalah menghitung rata-rata dari seluruh nilai deviasi tersebut. Rata-rata deviasi ini memberikan gambaran umum tentang seberapa jauh nilai keseluruhan kawasan dari target ideal yang diinginkan. Dengan menghitung rata-rata deviasi, dapat diketahui efektivitas keseluruhan dari solusi mitigasi yang diusulkan. Nilai rata-rata deviasi yang rendah menunjukkan bahwa nilai aktual untuk sebagian besar kawasan mendekati target ideal, yang menunjukkan bahwa mitigasi yang dilakukan cukup efektif. Sebaliknya, jika nilai rata-rata deviasi tinggi, hal ini mengindikasikan bahwa ada ketidaksesuaian yang signifikan antara hasil aktual dan target yang diharapkan, sehingga perlu dilakukan perbaikan atau penyesuaian pada model mitigasi. Langkah terakhir dalam *Deviation Analysis* adalah mengukur akurasi

mitigasi berdasarkan nilai deviasi yang telah dihitung. Akurasi mitigasi dihitung dengan menggunakan persamaan (3.6) (Studi et al., 2022).

$$Akurasi (\%) = (1 - Rata - rata Deviation) \times 100 \quad (3.6)$$

Nilai akurasi ini dinyatakan dalam bentuk persentase, yang memberikan interpretasi seberapa dekat nilai aktual dengan target ideal secara keseluruhan. Nilai akurasi yang tinggi menunjukkan bahwa mitigasi yang dilakukan sangat efektif dalam mencapai target yang diinginkan. Sebaliknya, nilai akurasi yang rendah menunjukkan bahwa ada banyak ketidaksesuaian antara hasil aktual dan target, sehingga model mitigasi perlu diperbaiki lebih lanjut untuk mencapai hasil yang lebih optimal. Dengan menggunakan *Deviation Analysis* ini, dapat disimpulkan tingkat keberhasilan solusi mitigasi dalam mengatasi masalah *Urban Heat Island* dan memberikan landasan bagi peningkatan atau penyesuaian yang diperlukan.

### 3.8.3 Validasi Solusi Mitigasi *Urban Heat Island*

Pengujian ini dilaksanakan terhadap tim Pemerintah Daerah (Pemda) Kota Malang guna memvalidasi akurasi dari solusi mitigasi yang diusulkan dalam menangani fenomena *Urban Heat Island*. Validasi ini memiliki tujuan untuk memastikan bahwa solusi yang telah diimplementasikan dapat memenuhi kebutuhan spesifik di setiap kawasan yang terdampak, serta efektif dalam mengurangi intensitas *Urban Heat Island* dan meningkatkan kualitas lingkungan perkotaan secara keseluruhan. Metode yang digunakan untuk pengujian ini adalah kuesioner yang terdiri dari sepuluh pertanyaan menggunakan skala Likert 1 hingga 5, dengan skala 1 menunjukkan tidak setuju atau ketidakpuasan, dan skala 5 menunjukkan tingkat persetujuan atau kepuasan yang sangat tinggi. Instrumen

kuesioner ini dirancang untuk mengumpulkan data persepsi dari tim Pemda terkait penerapan solusi mitigasi, yang meliputi aspek relevansi, keberlanjutan, kemudahan implementasi, serta dampak terhadap penurunan suhu lingkungan dan peningkatan kenyamanan termal di wilayah perkotaan. Tabel 3.18 adalah daftar pertanyaan yang diajukan dalam kuesioner ini mencakup berbagai aspek, antara lain kesesuaian solusi dengan kebutuhan lokal, efektivitas solusi dalam mereduksi panas lingkungan, serta dampak penerapan solusi terhadap kualitas hidup masyarakat.

Tabel 3.18 Daftar pertanyaan

| No  | Pertanyaan                                                                                                                                                                                                    |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Seberapa setuju Anda bahwa preferensi yang diberikan mencerminkan kebutuhan mitigasi yang sesuai untuk setiap kawasan?                                                                                        |
| 2.  | Apakah implementasi mitigasi material seperti permukaan atap, dinding, dan jalan sudah cukup tepat dalam mengurangi efek <i>Urban Heat Island</i> di kawasan yang ditargetkan?                                |
| 3.  | Apakah implementasi vegetasi seperti penutup lahan, koridor, dan taman merupakan langkah yang efektif untuk meningkatkan kualitas lingkungan di kawasan yang ditargetkan?                                     |
| 4.  | Apakah mitigasi material permukaan dan vegetasi yang dipilih memberikan dampak yang signifikan terhadap pengurangan suhu di kawasan yang ditargetkan?                                                         |
| 5.  | Seberapa relevan mitigasi material seperti permukaan atap, dinding, dan jalan dan vegetasi seperti penutup lahan, koridor, dan taman dalam meningkatkan kesejahteraan masyarakat di kawasan yang ditargetkan? |
| 6.  | Seberapa efektif langkah mitigasi dalam mengurangi efek <i>Urban Heat Island</i> di seluruh kawasan yang ditargetkan?                                                                                         |
| 7.  | Apakah langkah mitigasi yang diterapkan telah mengoptimalkan penggunaan vegetasi dan material untuk mencapai hasil yang terbaik?                                                                              |
| 8.  | Seberapa penting peran albedo permukaan dalam mitigasi <i>Urban Heat Island</i> di kawasan yang ditargetkan?                                                                                                  |
| 9.  | Seberapa besar dampak penambahan vegetasi terhadap pengurangan suhu dan peningkatan kenyamanan termal di kawasan perkotaan?                                                                                   |
| 10. | Seberapa setuju Anda bahwa langkah mitigasi yang diambil telah memperhatikan karakteristik khusus dari setiap kawasan?                                                                                        |

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

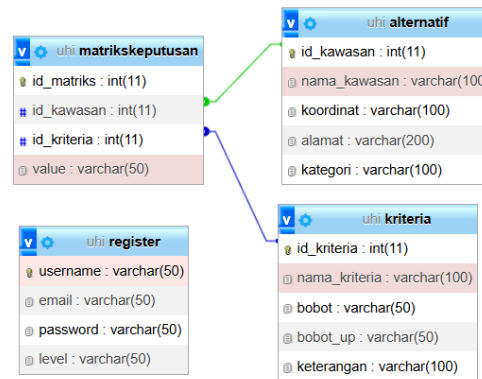
#### **4.1 Implementasi Sistem**

Penerapan sistem pada penelitian ini dilakukan sesuai dengan metode yang digunakan, yaitu metode TOPSIS dan Fuzzy. Dalam proses ini, perhitungan TOPSIS dilakukan secara langsung di dalam basis data. Selanjutnya, nilai preferensi yang diperoleh dimasukkan ke dalam sistem Fuzzy untuk menghasilkan solusi mitigasi *Urban Heat Island*.

##### **4.1.1 Implementasi TOPSIS**

Pada tahapan ini, sistem dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman PHP serta basis data MySQL. Perhitungan TOPSIS dilakukan melalui *view* yang ada pada basis data untuk meningkatkan efisiensi dan kecepatan pemrosesan data. Sistem ini dirancang agar bersifat dinamis, yang berarti bahwa data dapat diubah, diperbarui, atau ditambahkan tanpa perlu mengubah keseluruhan kode program. Hal ini memungkinkan perhitungan TOPSIS dilakukan secara langsung melalui *view* basis data, sehingga data yang baru dimasukkan atau diperbarui dapat langsung diproses secara *real-time*, meningkatkan efisiensi dan kecepatan pemrosesan data. Sistem ini dirancang untuk mendukung penilaian berbasis kriteria yang kompleks dengan memanfaatkan algoritma TOPSIS secara langsung dalam *query* basis data, sehingga mengurangi kebutuhan untuk perhitungan manual atau

terpisah. Gambar 4.1 ini merupakan detail mengenai struktur basis data yang akan digunakan.



Gambar 4. 1 Basis Data System

Gambar 4.1 merupakan basis data yang terdiri dari empat tabel utama, yaitu matrikskeputusan, alternatif, kriteria, dan register. Keempat tabel ini saling terhubung untuk membantu sistem pengambilan keputusan yang melibatkan penilaian beberapa kawasan berdasarkan berbagai kriteria yang sudah ditentukan.

| id_matriks | id_kawasan | id_kriteria | value  |
|------------|------------|-------------|--------|
| 1          | 1          | 1           | 3      |
| 2          | 1          | 2           | 2.67   |
| 3          | 1          | 3           | 3.43   |
| 4          | 1          | 4           | 26.303 |
| 5          | 1          | 5           | 42.372 |
| 6          | 1          | 6           | 14.215 |
| 7          | 1          | 7           | 0.42   |
| 8          | 1          | 8           | 0.26   |
| 9          | 1          | 9           | 0.19   |
| 10         | 1          | 10          | 1      |
| 11         | 1          | 11          | 1      |
| 12         | 1          | 12          | 1      |
| 13         | 1          | 13          | 0.2    |
| 14         | 1          | 14          | 0.2    |
| 15         | 1          | 15          | 0.2    |
| 16         | 2          | 1           | 2.46   |
| 17         | 2          | 2           | 3.08   |
| 18         | 2          | 3           | 3.73   |
| 19         | 2          | 4           | 24.158 |
| 20         | 2          | 5           | 36.776 |
| 21         | 2          | 6           | 14.463 |
| 22         | 2          | 7           | 0.55   |
| 23         | 2          | 8           | 0.26   |

Gambar 4.2 Tabel Matriks Keputusan

Gambar 4.2 merupakan Tabel matrikskeputusan yang digunakan untuk menyimpan informasi hasil penilaian setiap kawasan terhadap kriteria tertentu. Tabel tersebut menghubungkan dua tabel lainnya, yaitu alternatif dan kriteria, dengan menggunakan `id_kawasan` dan `id_kriteria`. Di dalam tabel ini, terdapat relasi yang bersifat *many-to-many* antara tabel alternatif dan kriteria. Relasi ini menggambarkan bahwa setiap kawasan (alternatif) dapat dinilai menggunakan berbagai kriteria yang berbeda, sementara setiap kriteria dapat digunakan untuk menilai lebih dari satu kawasan. Untuk memfasilitasi relasi *many-to-many* ini, digunakan tabel matrikskeputusan sebagai penghubung. Tabel matrikskeputusan menyimpan informasi mengenai setiap kombinasi dari kawasan (`id_kawasan`) dan kriteria (`id_kriteria`), serta nilai penilaian (*value*). Tabel matrikskeputusan memungkinkan sistem untuk mencatat penilaian setiap kawasan terhadap semua kriteria yang relevan, sekaligus memungkinkan kriteria yang sama untuk digunakan dalam penilaian berbagai kawasan.

| id_kawasan | nama_kawasan | koordinat              | alamat                                                       | kategori  |
|------------|--------------|------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------|
| 1          | PR1          | -7.9558253,112.6526594 | Jl Titan Asri - Jl Tita Raya - Jl Sulfat Agung - Jl Sim...   | planned   |
| 2          | PR2          | -7.9431827,112.5941544 | Perum Joyogrand - Jl Jerusalem - Jl Jeddah - Jl Chi...       | planned   |
| 3          | PR3          | -7.974393,112.6655271  | Jl Danau Panai - Jl Danau Tigi - Jl Danau Sentani R...       | planned   |
| 4          | PR4          | -7.9349225,112.6369252 | Jl Ikan Nus 1 - Jl Ikan Layur - Jl Ikan Paus - Jl Tam...     | planned   |
| 5          | PK1          | -7.9666487,112.6480891 | Jl Taman Sulfat 32 - Jl Widas Utara - Jl Widas - Jl ...      | unplanned |
| 6          | PK2          | -7.955241,112.642149   | Jl Ciliwung - Jl Cimadur - Jl Citarum - Jl Cidurian - Jl ... | unplanned |
| 7          | PK3          | -7.9664626,112.6437136 | Jl Mayang - Jl Bondo Yudho - Jl Banyu Putih - Jl P...        | unplanned |
| 8          | PK4          | -7.9514326,112.6423919 | Jl Karya Timur Wonosari - Jl Karya Timur Gg 1 - Jl ...       | unplanned |

Gambar 4.3 Tabel Alternatif

Gambar 4.3 merupakan Tabel alternatif digunakan untuk menyimpan data mengenai kawasan-kawasan yang dievaluasi. Setiap kawasan memiliki informasi seperti nama, koordinat, alamat, dan kategori yang mungkin menunjukkan jenis

kawasan (perkampungan atau perumahan). Dengan informasi ini, sistem dapat mengidentifikasi kawasan yang dievaluasi.

| id_kriteria | nama_kriteria                    | bobot | bobot_up | keterangan |
|-------------|----------------------------------|-------|----------|------------|
| 1           | suhu udara                       | 0.032 | 0.032    | benefit    |
| 2           | kualitas udara                   | 0.025 | 0.025    | cost       |
| 3           | kenyamanan termal                | 0.019 | 0.019    | benefit    |
| 4           | luas permukaan dinding           | 0.014 | 0.014    | cost       |
| 5           | luas permukaan atap              | 0.009 | 0.009    | cost       |
| 6           | luas permukaan jalan             | 0.004 | 0.004    | cost       |
| 7           | refleksi permukaan dinding       | 0.040 | 0.121    | benefit    |
| 8           | refkesi permukaan atap           | 0.057 | 0.221    | benefit    |
| 9           | refleksi permukaan jalan         | 0.048 | 0.154    | benefit    |
| 10          | Skala Taman (m2)                 | 0.221 | 0.057    | benefit    |
| 11          | Skala Tanaman Koridor (m2)       | 0.154 | 0.048    | benefit    |
| 12          | Skala Tanaman Penutup Lahan (m2) | 0.121 | 0.040    | benefit    |
| 13          | Skala Taman                      | 0.098 | 0.098    | benefit    |
| 14          | Skala Tanaman Koridor            | 0.082 | 0.082    | benefit    |
| 15          | Skala Tanaman Penutup Lahan      | 0.068 | 0.068    | benefit    |

Gambar 4.4 Tabel Kriteria

Gambar 4.4 merupakan Tabel kriteria dalam basis data ini berisi informasi mengenai berbagai aspek yang digunakan untuk mengevaluasi kawasan. Setiap kriteria memiliki atribut berupa id\_kriteria sebagai identitas unik, nama\_kriteria yang menjelaskan kriteria tersebut (seperti suhu udara, kualitas udara, kenyamanan termal, luas permukaan dinding, dan skala tanaman), serta bobot yang menunjukkan tingkat kepentingan kriteria dalam proses evaluasi. Selain itu, terdapat kolom bobot\_up untuk menunjukkan pembobotan tambahan yang mungkin diperlukan. Kolom keterangan menjelaskan sifat dari setiap kriteria, apakah termasuk dalam kategori *benefit* atau *cost*. Kriteria *benefit* berarti semakin tinggi nilainya semakin baik, sementara kriteria *cost* berarti semakin rendah nilainya semakin baik. Tabel ini berperan penting dalam mengelola proses penilaian yang terstruktur, di mana bobot dan keterangan setiap kriteria membantu dalam menentukan prioritas dan membuat keputusan yang lebih objektif.

Setelah membuat basis data, langkah selanjutnya adalah membuat *view* menggunakan perintah *Create View* untuk mengimplementasikan perhitungan TOPSIS secara dinamis. *View* ini berfungsi untuk menggabungkan data dari berbagai tabel yang relevan, seperti tabel alternatif, kriteria, dan matriks keputusan, guna mempermudah proses perhitungan dan analisis. Dengan menggunakan *view*, kita dapat menyederhanakan perhitungan bobot, normalisasi, dan skor jarak terhadap solusi ideal serta solusi anti-ideal, yang semuanya merupakan bagian dari metode TOPSIS.

| View Name             | Columns and Data Types                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| uhi_tpmembagi         | id_kriteria : int(11)<br>penyebut_planned : double<br>penyebut_unplanned : double                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| uhi_tnormalisasi      | nama_kawasan : varchar(100)<br>kategori : varchar(100)<br>nama_kriteria : varchar(100)<br>nilai_awal : varchar(50)<br>normalisasi_planned : double(21,4)<br>normalisasi_unplanned : double(21,4)                                                                                                                                                           |
| uhi_tnormalisasibobot | id_kawasan : int(11)<br>nama_kawasan : varchar(100)<br>kategori : varchar(100)<br>nama_kriteria : varchar(100)<br>nilai_awal : varchar(50)<br>normalisasi_planned : double(21,4)<br>normalisasi_unplanned : double(21,4)<br>terbobot_planned : double(21,4)<br>terbobot_unplanned : double(21,4)                                                           |
| uhi_tsolusiideal      | id_kawasan : int(11)<br>nama_kawasan : varchar(100)<br>id_kriteria : int(11)<br>nama_kriteria : varchar(100)<br>bobot : varchar(50)<br>keterangan : varchar(100)<br>ideal_positif_planned : double(21,4)<br>ideal_negatif_planned : double(21,4)<br>ideal_positif_unplanned : double(21,4)<br>ideal_negatif_unplanned : double(21,4)                       |
| uhi_tjaraksolusi      | id_kawasan : int(11)<br>nama_kawasan : varchar(100)<br>kategori : varchar(100)<br>jarak_positif_planned : double(21,4)<br>jarak_negatif_planned : double(21,4)<br>jarak_positif_unplanned : double(21,4)<br>jarak_negatif_unplanned : double(21,4)                                                                                                         |
| uhi_tpreferensi       | id_kawasan : int(11)<br>nama_kawasan : varchar(100)<br>preferensi_planned : double(20,3)<br>preferensi_unplanned : double(20,3)                                                                                                                                                                                                                            |
| uhi_tpreferensinrm    | id_kawasan : int(11)<br>nama_kawasan : varchar(100)<br>kategori : varchar(100)<br>preferensi_planned : double(20,3)<br>preferensi_unplanned : double(20,3)<br>normalisasi_material_planned : double(19,2)<br>normalisasi_material_unplanned : double(19,2)<br>normalisasi_vegetasi_planned : double(19,2)<br>normalisasi_vegetasi_unplanned : double(19,2) |

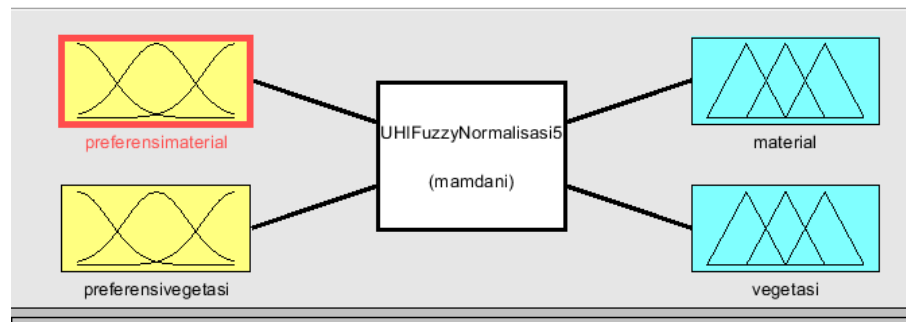
Gambar 4.5 Implementasi TOPSIS

Gambar 4.5 merupakan implementasi TOPSIS dengan menggunakan *view*, memungkinkan integrasi data yang diperlukan untuk setiap tahap perhitungan, mulai dari normalisasi nilai alternatif terhadap kriteria hingga perhitungan nilai preverensi yang digunakan untuk menentukan *ranking* setiap alternatif. Pembuatan

view ini juga membantu untuk menjaga agar proses perhitungan dapat dilakukan secara efisien dan *real-time* setiap kali data diubah atau diperbarui.

#### 4.1.2 Implementasi Fuzzy

Pada himpunan fuzzy mitigasi Fenomena *Urbann Heat Island*, terdapat dua variabel *input* dan dua variabel *output*. Berdasarkan data yang diperoleh dalam penelitian ini, variabel *input* dibagi menjadi dua, yaitu preferensi material dan preferensi vegetasi. Sedangkan variabel *output* terdiri dari material dan vegetasi.



Gambar 4.6 Variabel Input dan Output

Himpunan fuzzy ini bertujuan untuk mengelompokkan data ke dalam kategori yang lebih terstruktur, sehingga memudahkan proses analisis dan pengambilan keputusan. Preferensi material dan vegetasi sebagai variabel *input* dipilih karena keduanya memiliki pengaruh signifikan terhadap efektivitas mitigasi yang dilakukan. Sementara itu, variabel *output* berupa material dan vegetasi memberikan gambaran mengenai hasil yang diharapkan dari proses mitigasi. Penentuan semesta pembicaraan dalam tabel membantu dalam membatasi nilai yang dapat diambil oleh setiap variabel, sehingga proses analisis menjadi lebih akurat dan relevan dengan kondisi yang ada.

Tabel 4.1 Semesta Pembicaraan Variabel Fuzzy

| Fungsi | Variabel            | Domain   |
|--------|---------------------|----------|
| Input  | Preferensi Material | [0 1.31] |
|        | Preferensi Vegetasi | [0 4.15] |
| Output | Material            | [0 0.8]  |
|        | Vegetasi            | [0 0.8]  |

Pada himpunan fuzzy yang digunakan, terdapat dua variabel *input* dan dua variabel *output*, masing-masing dengan domain tertentu. Variabel *input* terdiri dari preferensi material dan preferensi vegetasi. Preferensi material memiliki domain [0, 1.31], yang mencakup berbagai tingkatan preferensi material berdasarkan data yang diperoleh. Preferensi vegetasi memiliki domain [0, 4.15], yang mencerminkan tingkat preferensi penggunaan jenis tanaman dalam upaya mitigasi. Sementara itu, variabel *output* berupa material dan vegetasi, masing-masing memiliki domain [0, 0.8]. Domain ini menunjukkan efektivitas penggunaan material dan keberhasilan penggunaan vegetasi dalam mitigasi, dengan nilai yang dapat bervariasi antara 0 hingga 0.8. Parameter yang digunakan dalam setiap himpunan fuzzy dapat dilihat pada Tabel 4.2. Tabel tersebut memuat informasi mengenai rentang nilai dari setiap variabel, yang meliputi batas minimum dan maksimum untuk tiap kategori dalam himpunan fuzzy.

Tabel 4.2 Himpunan Fuzzy

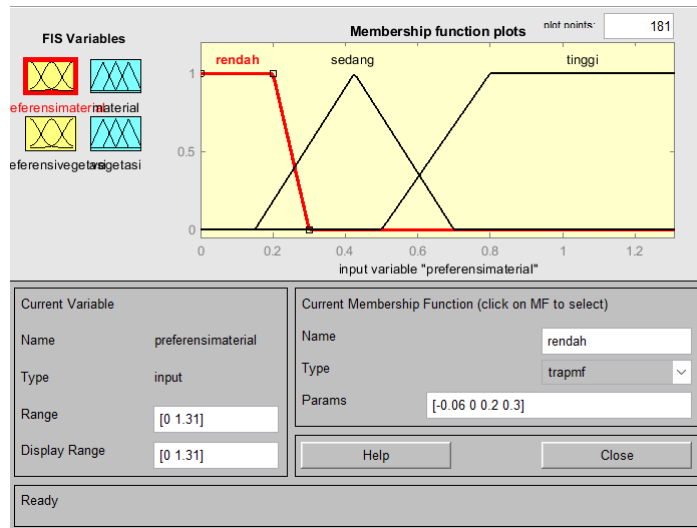
| Variabel | Nama Variabel       | Himpunan Fuzzy | Semesta Pembicaraan | Domain      |
|----------|---------------------|----------------|---------------------|-------------|
| Input    | Preferensi Material | Rendah         | [0 1.31]            | [-0.06 0.3] |
|          |                     | Sedang         |                     | [0.15 0.7]  |
|          |                     | Tinggi         |                     | [0.5 1.31]  |
|          | Preferensi Vegetasi | Rendah         | [0 4.15]            | [-0.44 0.5] |
|          |                     | Sedang         |                     | [0.3 2]     |
|          |                     | Tinggi         |                     | [1.5 4.15]  |
| Output   | Material            | Jalan          | [0 0.8]             | [0 0.25]    |
|          |                     | Atap           |                     | [0.13 0.42] |
|          |                     | Dinding        |                     | [0.3 0.8]   |
|          | Vegetasi            | Penutup Lahan  | [0 0.8]             | [0 0.13]    |
|          |                     | Koridor        |                     | [0.11 0.2]  |
|          |                     | Taman          |                     | [0.15 0.35] |

Pada Tabel 4.2 Preferensi material dan vegetasi masing-masing memiliki tiga kategori Rendah, Sedang, dan Tinggi, yang menggambarkan tingkat prioritas dari rendah hingga tinggi. Setiap kategori memiliki domain dan semesta pembicaraan yang menunjukkan rentang nilai untuk preferensi tersebut. Variabel *output* material terdiri dari kategori Jalan, Atap, dan Dinding, sedangkan *output* vegetasi terdiri dari Penutup Lahan, Koridor, dan Taman. Setiap kategori *output* memiliki domain yang menggambarkan tingkat preferensi penggunaannya. Adapun proses fuzzy dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Fuzzyfikasi

Fuzzyfikasi adalah proses yang bertujuan untuk mengubah data dari bentuk non-fuzzy (tegas) menjadi bentuk fuzzy (kabur). Proses ini melibatkan pembentukan himpunan fuzzy untuk mendefinisikan nilai-nilai *input* secara lebih fleksibel. Setiap himpunan fuzzy memiliki domain yang nilainya terdapat dalam semesta pembicaraan yang relevan. Domain pada himpunan fuzzy ditentukan dengan mempertimbangkan berbagai nilai statistik, seperti nilai terendah, kuartil bawah (Q1), median (Q2), kuartil atas (Q3), dan nilai tertinggi dari data yang tersedia. Dengan demikian, pembentukan himpunan fuzzy ini membantu menggambarkan variasi nilai dengan lebih baik dan memungkinkan penanganan ketidakpastian atau ambiguitas dalam data. Terdapat empat variabel yang akan dipertimbangkan, terdiri dari dua variabel *input* dan dua variabel *output*, yang semuanya akan direpresentasikan dalam bentuk grafik.

a. Preferensi Material



Gambar 4. 7 Himpunan Fuzzy Preferensi Material

Fungsi keanggotaan untuk variabel rendah menggunakan bentuk fungsi keanggotaan trapezoid dengan sifat linier menurun, yang didefinisikan dalam tiga interval, yaitu:  $[0, 0.2]$ ,  $[0.2, 0.3]$ , dan  $[0.3, \infty]$ . Fungsi keanggotaannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu_{Rendah}(x) = \begin{cases} 1 & , \quad x \leq 0.2 \\ \frac{0.3-x}{0.3-0.2} & , \quad 0.2 < x \leq 0.3 \\ 0 & , \quad x \geq 0.3 \end{cases}$$

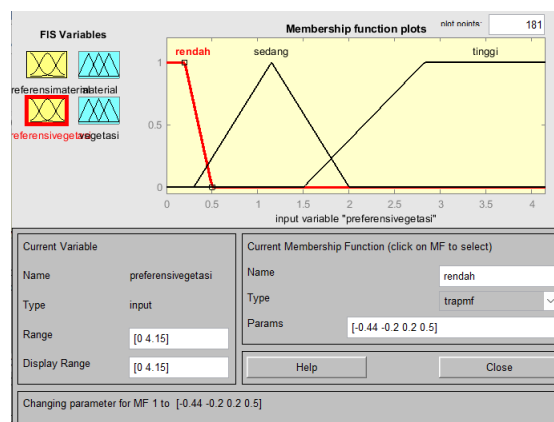
Untuk fungsi keanggotaan sedang, digunakan fungsi keanggotaan berbentuk segitiga, dengan interval yang mencakup:  $[0, 0.15]$ ,  $[0.15, 0.425]$ , dan  $[0.425, 0.7]$ . Bentuk fungsi keanggotaan sedang dapat dituliskan sebagai:

$$\mu_{Sedang}(x) = \begin{cases} 0 & , \quad x \leq 0.15 \\ \frac{x-0.15}{0.425-0.15} & , \quad 0.15 < x \leq 0.425 \\ \frac{0.7-x}{0.7-0.425} & , \quad 0.425 < x \leq 0.7 \end{cases}$$

Sementara itu, untuk fungsi keanggotaan tinggi, digunakan fungsi keanggotaan linier yang naik dengan tiga interval yaitu:  $[0, 0.5]$ ,  $[0.5, 0.8]$ , dan  $[0.8, \infty]$ . Fungsi keanggotaannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0 & , \quad x \leq 0.5 \\ \frac{x-0.5}{0.8-0.5} & , \quad 0.5 < x \leq 0.8 \\ 1 & , \quad x > 0.8 \end{cases}$$

b. Preferensi Vegetasi



Gambar 4.8 Himpunan Fuzzy Preferensi Vegetasi

Fungsi keanggotaan rendah menggunakan bentuk trapezoidal dengan tiga interval yaitu:  $[-0.44, -0.2]$ ,  $[-0.2, 0.2]$ , dan  $[0.2, 0.5]$ . Fungsi ini memiliki sifat linier menurun untuk menggambarkan keanggotaan rendah, dengan nilai maksimum pada titik awal dan berkurang secara linier seiring dengan peningkatan nilai  $x$ . Secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu_{Rendah}(x) = \begin{cases} 1 & , \quad x \leq 0.2 \\ \frac{0.5-x}{0.5-0.2} & , \quad 0.2 < x \leq 0.5 \\ 0 & , \quad x > 0.5 \end{cases}$$

Untuk fungsi keanggotaan sedang, digunakan fungsi berbentuk segitiga dengan interval mencakup:  $[0.3, 1.15]$  dan  $[1.15, 2]$ . Fungsi ini memiliki nilai keanggotaan yang meningkat dari titik minimum pada 0.3 hingga mencapai nilai

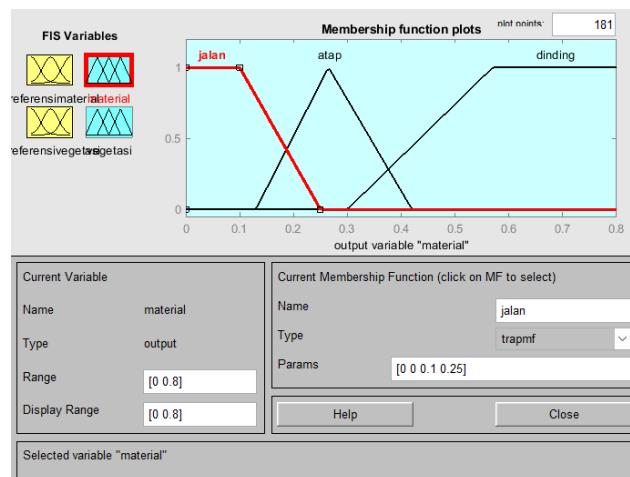
puncak di 1.15, kemudian berkurang lagi hingga titik akhir pada 2. Bentuk matematisnya adalah sebagai berikut:

$$\mu_{Sedang}(x) = \begin{cases} 0 & , \quad x \leq 0.3 \\ \frac{x-0.3}{1.15-0.3} & , \quad 0.3 < x \leq 1.15 \\ \frac{2-x}{2-1.15} & , \quad 1.15 < x \leq 2 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan tinggi menggunakan bentuk linier naik yang dimulai dari interval [1.5, 2.825]. Nilai keanggotaan meningkat dari 0 hingga mencapai maksimum pada x lebih besar dari 2.825, menggambarkan preferensi vegetasi yang tinggi. Bentuk matematisnya adalah:

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0 & , \quad x \leq 1.5 \\ \frac{x-1.5}{2.825-1.5} & , \quad 1.5 < x \leq 2.825 \\ 1 & , \quad x > 2.825 \end{cases}$$

### c. Output Material



Gambar 4.9 Himpunan Output Fuzzy Material

Fungsi keanggotaan jalan menggunakan bentuk trapezoid dengan interval [0, 0.1] dan [0.1, 0.25]. Fungsi ini memiliki nilai keanggotaan 1 pada awal interval (0 sampai 0.1) dan kemudian menurun secara linier hingga 0 pada nilai 0.25. Secara matematis, fungsi ini dapat dinyatakan sebagai:

$$\mu_{Jalan}(x) = \begin{cases} 1 & , \quad x \leq 0.1 \\ \frac{0.25-x}{0.25-0.1} & , \quad 0.1 < x \leq 0.25 \\ 0 & , \quad x > 0.25 \end{cases}$$

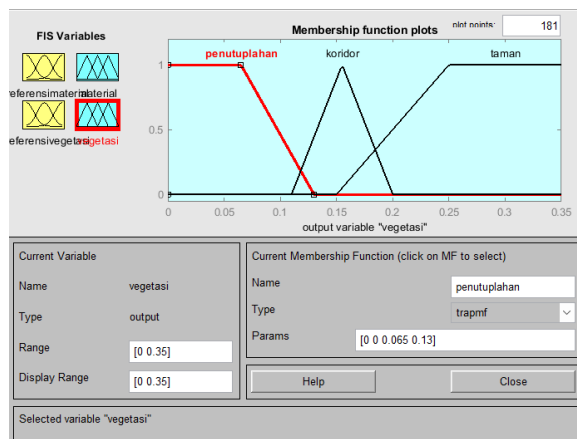
Fungsi keanggotaan atap berbentuk segitiga dengan interval [0.13, 0.256] dan [0.265, 0.42]. Fungsi ini mulai dari nilai keanggotaan 0 pada titik 0.13, meningkat secara linier hingga mencapai puncak di sekitar 0.256, kemudian menurun lagi hingga titik 0 pada 0.42. Bentuk matematis dari fungsi keanggotaan atap adalah sebagai berikut:

$$\mu_{Atap}(x) = \begin{cases} 0 & , \quad x \leq 0.13 \\ \frac{x-0.13}{0.256-0.13} & , \quad 0.13 < x \leq 0.256 \\ \frac{0.42-x}{0.42-0.256} & , \quad 0.256 < x \leq 0.42 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan dinding menggunakan bentuk linier naik dengan interval [0.3, 0.57]. Fungsi ini mulai dari nilai keanggotaan 0 pada titik 0.3, meningkat hingga mencapai nilai maksimum pada 0.57 dan tetap pada 1 setelahnya. Fungsi keanggotaannya dapat dinyatakan sebagai:

$$\mu_{Dinding}(x) = \begin{cases} 0 & , \quad x \leq 0.3 \\ \frac{x-0.3}{0.57-0.3} & , \quad 0.3 < x \leq 0.57 \\ 1 & , \quad x > 0.57 \end{cases}$$

d. *Output Vegetasi*



Gambar 4.10 Himpunan *Output* Fuzzy Vegetasi

Fungsi keanggotaan penutup lahan menggunakan bentuk trapezoid dengan parameter yang mencakup interval  $[0, 0.065]$  dan  $[0.065, 0.13]$ . Fungsi ini memiliki nilai keanggotaan 1 pada interval  $[0, 0.065]$ , kemudian berkurang secara linier hingga mencapai 0 pada nilai 0.13. Secara matematis, fungsi ini dapat dinyatakan sebagai:

$$\mu_{PenutupLahan}(x) = \begin{cases} 1 & , \quad x \leq 0.065 \\ \frac{0.65-x}{0.13-0.065} & , \quad 0.065 < x \leq 0.13 \\ 0 & , \quad x > 0.13 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan koridor berbentuk segitiga dengan interval yang mencakup  $[0.11, 0.155]$  dan  $[0.155, 0.2]$ . Fungsi ini mulai dari nilai keanggotaan 0 pada titik 0.11, kemudian meningkat secara linier hingga mencapai puncak di sekitar 0.155, lalu menurun lagi hingga titik 0 pada 0.2. Bentuk matematis dari fungsi keanggotaan koridor adalah sebagai berikut:

$$\mu_{Koridor}(x) = \begin{cases} 0 & , \quad x \leq 0.11 \\ \frac{x-0.11}{0.155-0.11} & , \quad 0.11 < x \leq 0.155 \\ \frac{0.2-x}{0.2-0.155} & , \quad 0.155 < x \leq 0.2 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan taman menggunakan bentuk linier naik dengan interval  $[0.15, 0.25]$ . Fungsi ini mulai dari nilai keanggotaan 0 pada titik 0.15, kemudian meningkat secara linier hingga mencapai nilai maksimum 1 pada nilai 0.25 dan tetap pada 1 setelahnya. Fungsi keanggotaannya dapat dinyatakan sebagai:

$$\mu_{Taman}(x) = \begin{cases} 0 & , \quad x \leq 0.15 \\ \frac{x-0.15}{0.25-0.15} & , \quad 0.15 < x \leq 0.25 \\ 1 & , \quad x > 0.25 \end{cases}$$

## 2. Pembentukan Aturan Fuzzy

Pada pembentukan aturan fuzzy nilai keanggotaan dari himpunan Preferensi Material, Preferensi Vegetasi, Material, dan Vegetasi ditentukan menggunakan fungsi keanggotaan fuzzy berdasarkan data yang diperoleh. Pembentukan aturan fuzzy dilakukan dengan menggunakan dua variabel *input* dan dua variabel *output* yang telah didefinisikan. Proses ini melibatkan analisis terhadap batas-batas setiap himpunan fuzzy dalam masing-masing variabel untuk memastikan pembagian yang tepat sesuai dengan karakteristik data. Sebagai hasil dari analisis ini, diperoleh total 81 aturan fuzzy yang akan digunakan dalam sistem. Aturan-aturan ini memungkinkan sistem untuk menentukan nilai *output* secara bersamaan untuk dua variabel, yaitu material dan vegetasi. Pendekatan fuzzy ini memungkinkan hubungan antar variabel *input* dan *output* yang kompleks untuk dimodelkan secara efektif, memberikan hasil yang lebih optimal dalam pengambilan keputusan terkait pengelolaan material dan vegetasi. Hasil pembentukan *rule* dapat di lihat pada Tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 *Rule Fuzzy*

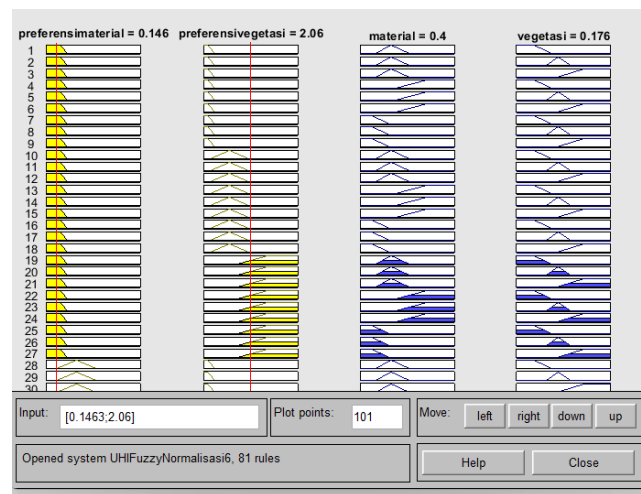
| No | <i>Input</i>        |                     | <i>Output</i> |               |
|----|---------------------|---------------------|---------------|---------------|
|    | Preferensi Material | Preferensi Vegetasi | Material      | Vegetasi      |
| 1  | Rendah              | Rendah              | Atap          | Penutup Lahan |
| 2  | Rendah              | Rendah              | Atap          | Koridor       |
| 3  | Rendah              | Rendah              | Atap          | Taman         |
| 4  | Rendah              | Rendah              | Dinding       | Penutup Lahan |
| 5  | Rendah              | Rendah              | Dinding       | Koridor       |
| 6  | Rendah              | Rendah              | Dinding       | Taman         |
| 7  | Rendah              | Rendah              | Jalan         | Penutup Lahan |
| 8  | Rendah              | Rendah              | Jalan         | Koridor       |
| 9  | Rendah              | Rendah              | Jalan         | Taman         |
| 10 | Rendah              | Sedang              | Atap          | Penutup Lahan |
| 11 | Rendah              | Sedang              | Atap          | Koridor       |
| 12 | Rendah              | Sedang              | Atap          | Taman         |

| No | <i>Input</i>               |                            | <i>Output</i>   |                 |
|----|----------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|
|    | <b>Preferensi Material</b> | <b>Preferensi Vegetasi</b> | <b>Material</b> | <b>Vegetasi</b> |
| 13 | Rendah                     | Sedang                     | Dinding         | Penutup Lahan   |
| 14 | Rendah                     | Sedang                     | Dinding         | Koridor         |
| 15 | Rendah                     | Sedang                     | Dinding         | Taman           |
| 16 | Rendah                     | Sedang                     | Jalan           | Penutup Lahan   |
| 17 | Rendah                     | Sedang                     | Jalan           | Koridor         |
| 18 | Rendah                     | Sedang                     | Jalan           | Taman           |
| 19 | Rendah                     | Tinggi                     | Atap            | Penutup Lahan   |
| 20 | Rendah                     | Tinggi                     | Atap            | Koridor         |
| 21 | Rendah                     | Tinggi                     | Atap            | Taman           |
| 22 | Rendah                     | Tinggi                     | Dinding         | Penutup Lahan   |
| 23 | Rendah                     | Tinggi                     | Dinding         | Koridor         |
| 24 | Rendah                     | Tinggi                     | Dinding         | Taman           |
| 25 | Rendah                     | Tinggi                     | Jalan           | Penutup Lahan   |
| 26 | Rendah                     | Tinggi                     | Jalan           | Koridor         |
| 27 | Rendah                     | Tinggi                     | Jalan           | Taman           |
| 28 | Sedang                     | Rendah                     | Atap            | Penutup Lahan   |
| 29 | Sedang                     | Rendah                     | Atap            | Koridor         |
| 30 | Sedang                     | Rendah                     | Atap            | Taman           |
| 31 | Sedang                     | Rendah                     | Dinding         | Penutup Lahan   |
| 32 | Sedang                     | Rendah                     | Dinding         | Koridor         |
| 33 | Sedang                     | Rendah                     | Dinding         | Taman           |
| 34 | Sedang                     | Rendah                     | Jalan           | Penutup Lahan   |
| 35 | Sedang                     | Rendah                     | Jalan           | Koridor         |
| 36 | Sedang                     | Rendah                     | Jalan           | Taman           |
| 37 | Sedang                     | Sedang                     | Atap            | Penutup Lahan   |
| 38 | Sedang                     | Sedang                     | Atap            | Koridor         |
| 39 | Sedang                     | Sedang                     | Atap            | Taman           |
| 40 | Sedang                     | Sedang                     | Dinding         | Penutup Lahan   |
| 41 | Sedang                     | Sedang                     | Dinding         | Koridor         |
| 42 | Sedang                     | Sedang                     | Dinding         | Taman           |
| 43 | Sedang                     | Sedang                     | Jalan           | Penutup Lahan   |
| 44 | Sedang                     | Sedang                     | Jalan           | Koridor         |
| 45 | Sedang                     | Sedang                     | Jalan           | Taman           |
| 46 | Sedang                     | Tinggi                     | Atap            | Penutup Lahan   |
| 47 | Sedang                     | Tinggi                     | Atap            | Koridor         |
| 48 | Sedang                     | Tinggi                     | Atap            | Taman           |
| 49 | Sedang                     | Tinggi                     | Dinding         | Penutup Lahan   |
| 50 | Sedang                     | Tinggi                     | Dinding         | Koridor         |
| 51 | Sedang                     | Tinggi                     | Dinding         | Taman           |
| 52 | Sedang                     | Tinggi                     | Jalan           | Penutup Lahan   |
| 53 | Sedang                     | Tinggi                     | Jalan           | Koridor         |
| 54 | Sedang                     | Tinggi                     | Jalan           | Taman           |

| No | <i>Input</i>        |                     | <i>Output</i> |               |
|----|---------------------|---------------------|---------------|---------------|
|    | Preferensi Material | Preferensi Vegetasi | Material      | Vegetasi      |
| 55 | Tinggi              | Rendah              | Atap          | Penutup Lahan |
| 56 | Tinggi              | Rendah              | Atap          | Koridor       |
| 57 | Tinggi              | Rendah              | Atap          | Taman         |
| 58 | Tinggi              | Rendah              | Dinding       | Penutup Lahan |
| 59 | Tinggi              | Rendah              | Dinding       | Koridor       |
| 60 | Tinggi              | Rendah              | Dinding       | Taman         |
| 61 | Tinggi              | Rendah              | Jalan         | Penutup Lahan |
| 62 | Tinggi              | Rendah              | Jalan         | Koridor       |
| 63 | Tinggi              | Rendah              | Jalan         | Taman         |
| 64 | Tinggi              | Sedang              | Atap          | Penutup Lahan |
| 65 | Tinggi              | Sedang              | Atap          | Koridor       |
| 66 | Tinggi              | Sedang              | Atap          | Taman         |
| 67 | Tinggi              | Sedang              | Dinding       | Penutup Lahan |
| 68 | Tinggi              | Sedang              | Dinding       | Koridor       |
| 69 | Tinggi              | Sedang              | Dinding       | Taman         |
| 70 | Tinggi              | Sedang              | Jalan         | Penutup Lahan |
| 71 | Tinggi              | Sedang              | Jalan         | Koridor       |
| 72 | Tinggi              | Sedang              | Jalan         | Taman         |
| 73 | Tinggi              | Tinggi              | Atap          | Penutup Lahan |
| 74 | Tinggi              | Tinggi              | Atap          | Koridor       |
| 75 | Tinggi              | Tinggi              | Atap          | Taman         |
| 76 | Tinggi              | Tinggi              | Dinding       | Penutup Lahan |
| 77 | Tinggi              | Tinggi              | Dinding       | Koridor       |
| 78 | Tinggi              | Tinggi              | Dinding       | Taman         |
| 79 | Tinggi              | Tinggi              | Jalan         | Penutup Lahan |
| 80 | Tinggi              | Tinggi              | Jalan         | Koridor       |
| 81 | Tinggi              | Tinggi              | Jalan         | Taman         |

### 3. Agregasi dan Defuzzifikasi

Agregasi dalam sistem logika fuzzy adalah langkah penting untuk menggabungkan semua hasil evaluasi aturan fuzzy menjadi satu nilai komposit. Tujuan dari proses agregasi ini adalah untuk menentukan kontribusi keseluruhan dari semua aturan yang berlaku untuk variabel *output*, sehingga hasil akhirnya mewakili kesimpulan dari berbagai aturan yang telah dibuat.



Gambar 4.11 Hasil Agregasi dan Defuzzifikasi

Pada proses agregasi, di mana nilai maksimum dari 81 aturan fuzzy yang relevan digunakan untuk menentukan nilai akhir dari variabel output, yaitu material dan vegetasi. Hasil agregasi menunjukkan bahwa kontribusi dari setiap aturan fuzzy diintegrasikan dengan baik, menghasilkan output yang optimal dan mendekati kondisi nyata di lapangan. Pada Gambar 1 terlihat bahwa setiap aturan fuzzy memiliki kontribusi yang digambarkan dalam bentuk grafik, yang menunjukkan tingkat keanggotaan dari preferensi material dan vegetasi. Nilai agregat yang diperoleh untuk material adalah 0.4 dan untuk vegetasi adalah 0.176, yang menunjukkan bahwa kontribusi dari aturan fuzzy yang relevan telah teragregasi dengan baik.

Defuzzifikasi adalah tahap akhir dalam sistem logika fuzzy, di mana nilai fuzzy yang dihasilkan dari proses agregasi diubah menjadi nilai crisp yang dapat digunakan sebagai output akhir. Pada sistem ini, metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode centroid, yang merupakan salah satu metode paling umum dan efektif. Metode centroid menghitung rata-rata dari pusat area di bawah

kurva fungsi keanggotaan yang dihasilkan dari proses agregasi. Proses defuzzifikasi dengan metode centroid memastikan bahwa nilai crisp yang dihasilkan mencerminkan kontribusi dari semua aturan fuzzy yang berlaku secara proporsional. Hasil defuzzifikasi ini memberikan nilai output yang lebih realistis dan dapat digunakan untuk pengambilan keputusan di lapangan, sehingga sistem fuzzy dapat memberikan hasil yang lebih akurat dan mendekati kondisi nyata. Tabel 4.4 menunjukkan hasil Solusi mitigasi yang telah dilakukan dengan menggunakan fuzzy.

#### 4.2 Hasil Mitigasi

Berdasarkan hasil perhitungan TOPSIS dan Fuzzy maka di dapatkan hasil mitigasi seperti pada Tabel 4.4. Hasil mitigasi ini memberikan gambaran mengenai efektivitas solusi yang diusulkan serta rekomendasi untuk optimasi penerapannya di masa mendatang.

Tabel 4.4 Hasil Mitigasi

| No. | Kawasan | Nilai Preferensi | Fuzzy Material | Fuzzy Vegetasi | Mitigasi                                                                                                       |
|-----|---------|------------------|----------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | PR1     | 0.018            | 0,415          | 0,181          | <i>Mitigation Material: JALAN (69.68%)<br/>Mitigation Vegetation: PENUTUP LAHAN / VERTICAL GARDEN (30.32%)</i> |
| 2.  | PR2     | 0.786            | 0,415          | 0,181          | <i>Mitigation Material: DINDING (69.68%)<br/>Mitigation Vegetation: TAMAN (30.32%)</i>                         |
| 3.  | PR3     | 0.512            | 0,401          | 0,176          | <i>Mitigation Material: DINDING (69.44%)<br/>Mitigation Vegetation: TAMAN (30.56%)</i>                         |
| 4.  | PR4     | 0.384            | 0,406          | 0,178          | <i>Mitigation Material: ATAP (69.49%)<br/>Mitigation Vegetation: KORIDOR (30.51%)</i>                          |

| No. | Kawasan | Nilai Preferensi | Fuzzy Material | Fuzzy Vegetasi | Mitigasi                                                                                                             |
|-----|---------|------------------|----------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5.  | PK1     | 0.930            | 0,415          | 0,181          | <i>Mitigation Material: DINDING (69.68%)</i><br><i>Mitigation Vegetation: TAMAN (30.32%)</i>                         |
| 6.  | PK2     | 0.337            | 0,415          | 0,18           | <i>Mitigation Material: ATAP (69.68%)</i><br><i>Mitigation Vegetation: KORIDOR (30.32%)</i>                          |
| 7.  | PK3     | 0.089            | 0,415          | 0,181          | <i>Mitigation Material: JALAN (69.68%)</i><br><i>Mitigation Vegetation: PENUTUP LAHAN / VERTICAL GARDEN (30.32%)</i> |
| 8.  | PK4     | 0.055            | 0,415          | 0,181          | <i>Mitigation Material: JALAN (69.68%)</i><br><i>Mitigation Vegetation: PENUTUP LAHAN / VERTICAL GARDEN (30.32%)</i> |

Hasil mitigasi *Urban Heat Island* (UHI) pada berbagai kawasan menunjukkan bahwa penggunaan material dan vegetasi berperan penting dalam mengurangi suhu lingkungan perkotaan.

1. Kawasan PR1: Mitigasi UHI difokuskan pada peningkatan albedo jalan, yang diperkirakan berkontribusi sebesar 69,68% dalam menurunkan suhu. Kontribusi ini tidak berarti jalan harus dibongkar, melainkan dapat dicapai dengan menggunakan material jalan yang lebih reflektif atau menerapkan lapisan coating khusus untuk mengurangi penyerapan panas. Selain itu, vertical garden atau penutup lahan sebagai solusi vegetasi diperkirakan memberikan kontribusi 30,32% dalam menurunkan suhu melalui penanaman rumput atau tanaman penutup tanah yang memiliki daya serap panas rendah dan meningkatkan kelembapan tanah.
2. Kawasan PR2: Mitigasi UHI lebih difokuskan pada dinding, yang diperkirakan berkontribusi sebesar 69,68%. Dinding dapat dilapisi atau di cat dengan bahan

reflektif atau material dengan insulasi termal tinggi dapat membantu mengurangi suhu permukaan bangunan. Taman sebagai solusi mitigasi vegetasi diperkirakan berkontribusi 30,32% dalam menurunkan suhu melalui peningkatan penghijauan dan peningkatan kualitas udara.

3. Kawasan PR3: Penggunaan dinding sebagai solusi mitigasi diperkirakan memiliki kontribusi sebesar 69,44%. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan material dengan memasang lapisan insulatif pada dinding bangunan. Sementara itu, taman sebagai solusi mitigasi vegetasi diperkirakan memberikan kontribusi 30,56% dalam menurunkan suhu melalui proses evapotranspirasi, yang juga meningkatkan kenyamanan di sekitar kawasan tersebut.
4. Kawasan PR4: Atap sebagai material mitigasi diperkirakan memberikan kontribusi 69,49% dalam mengurangi dampak panas dari paparan sinar matahari langsung. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan material atap reflektif atau menambahkan lapisan insulasi termal. Koridor hijau sebagai solusi mitigasi vegetasi diperkirakan memberikan kontribusi 30,51% dalam menurunkan suhu melalui peningkatan kelembaban udara dan penciptaan ruang hijau sebagai pendingin alami.
5. Kawasan PK1: Dinding sebagai solusi mitigasi albedo material diperkirakan memberikan kontribusi 69,68% dalam menurunkan suhu permukaan bangunan, yang dapat dilakukan dengan menggunakan cat reflektif. Taman sebagai solusi mitigasi vegetasi diperkirakan berkontribusi 30,32% dalam

mengurangi suhu dan meningkatkan kualitas udara melalui penghijauan yang efisien.

6. Kawasan PK2: Mitigasi UHI lebih mengarah pada perbaikan pada atap dengan melapisi bahan reflektif yang diperkirakan akan berkontribusi 69,68%. Koridor hijau sebagai solusi vegetasi, dengan kontribusi 30,32%, diperkirakan dapat meningkatkan kelembaban udara dan memberikan efek pendinginan tambahan melalui penghijauan.
7. Kawasan PK3: Mitigasi UHI terfokus pada jalan, yang diperkirakan berkontribusi 69,68% dalam mengurangi panas dengan meningkatkan albedo material jalan. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan bahan yang lebih reflektif atau menerapkan lapisan pelapis khusus. Vertical garden atau penutup lahan sebagai mitigasi vegetasi diperkirakan berkontribusi 30,32% dalam menurunkan suhu melalui penghijauan yang efisien.
8. Kawasan PK4: Jalan dengan albedo tinggi diperkirakan memberikan kontribusi 69,68% dalam mitigasi UHI. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan material jalan yang lebih reflektif atau aplikasi coating khusus. Vertical garden sebagai solusi vegetasi diperkirakan berkontribusi 30,32% dalam menurunkan suhu melalui penggunaan rumput atau tanaman penutup tanah yang memiliki daya serap panas rendah dan meningkatkan kelembapan tanah.

### 4.3 Uji Coba System

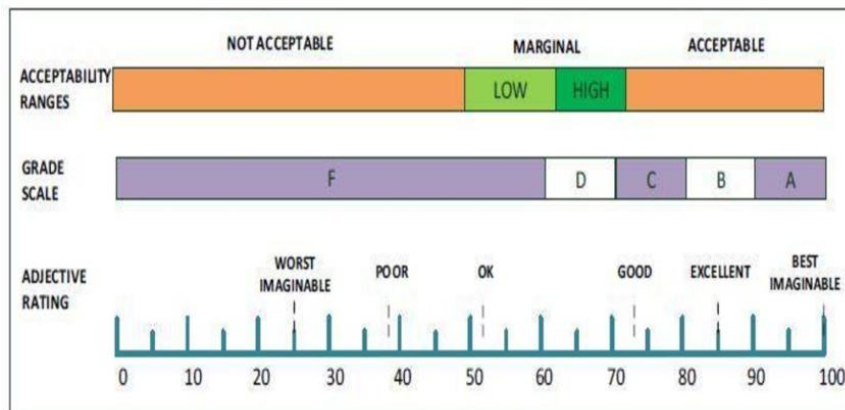
#### 4.3.1 System Usability Scale

Dalam penelitian ini, pengujian sistem dilakukan menggunakan *System Usability Scale* untuk mengevaluasi tingkat kegunaan sistem secara keseluruhan. SUS merupakan metode evaluasi yang efektif dalam mengukur persepsi pengguna terhadap kemudahan penggunaan, efisiensi, dan kenyamanan antarmuka. Skala SUS terdiri dari 10 pernyataan yang diberikan kepada responden, dengan rentang penilaian dari 1 hingga 5, di mana skor akhir mencerminkan tingkat *usability* dari sistem yang diuji. Kuesioner SUS ini disebarkan kepada berbagai pihak, yaitu perwakilan pemerintahan Pemkot Kota Malang, mahasiswa, serta peneliti yang memiliki fokus pada *Urban Heat Island*. Melalui metode ini, diharapkan hasil pengujian dapat memberikan gambaran objektif mengenai pengalaman pengguna.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan SUS

[illegible]

| No                 | Responden | Skor Hasil Hitung |    |    |    |    |    |    |    |    |     | Hasil |
|--------------------|-----------|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-------|
|                    |           | Q1                | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 | Q9 | Q10 |       |
| 20                 | R20       | 3                 | 4  | 3  | 3  | 4  | 4  | 3  | 3  | 4  | 4   | 87,5  |
| 21                 | R21       | 4                 | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4   | 100   |
| 22                 | R22       | 4                 | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4   | 100   |
| 23                 | R23       | 3                 | 3  | 4  | 4  | 3  | 3  | 3  | 4  | 4  | 4   | 87,5  |
| 24                 | R24       | 3                 | 3  | 4  | 4  | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 3   | 67,5  |
| 25                 | R25       | 3                 | 3  | 3  | 4  | 3  | 3  | 4  | 4  | 4  | 4   | 87,5  |
| 26                 | R26       | 3                 | 3  | 4  | 4  | 3  | 3  | 4  | 4  | 3  | 3   | 85    |
| 27                 | R27       | 4                 | 4  | 3  | 3  | 4  | 3  | 3  | 3  | 3  | 4   | 85    |
| 28                 | R28       | 3                 | 3  | 4  | 4  | 3  | 3  | 4  | 4  | 3  | 3   | 85    |
| 29                 | R29       | 3                 | 4  | 3  | 4  | 3  | 4  | 4  | 3  | 3  | 3   | 85    |
| 30                 | R30       | 3                 | 4  | 4  | 4  | 3  | 3  | 4  | 3  | 4  | 3   | 87,5  |
| 31                 | R31       | 4                 | 3  | 3  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4   | 95    |
| 32                 | R32       | 4                 | 4  | 3  | 4  | 3  | 3  | 4  | 4  | 3  | 4   | 90    |
| 33                 | R33       | 4                 | 2  | 3  | 2  | 2  | 1  | 3  | 2  | 3  | 1   | 57,5  |
| 34                 | R34       | 1                 | 1  | 3  | 3  | 3  | 1  | 2  | 1  | 3  | 1   | 47,5  |
| 35                 | R35       | 4                 | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4   | 100   |
| 36                 | R36       | 4                 | 4  | 4  | 3  | 3  | 4  | 4  | 3  | 4  | 4   | 92,5  |
| 37                 | R37       | 3                 | 3  | 3  | 3  | 3  | 2  | 3  | 2  | 3  | 2   | 67,5  |
| 38                 | R38       | 4                 | 4  | 3  | 4  | 3  | 4  | 4  | 3  | 4  | 3   | 90    |
| 39                 | R39       | 4                 | 4  | 3  | 3  | 4  | 3  | 3  | 4  | 4  | 4   | 90    |
| 40                 | R40       | 4                 | 4  | 3  | 4  | 4  | 4  | 4  | 3  | 4  | 4   | 95    |
| 41                 | R41       | 4                 | 3  | 3  | 4  | 4  | 3  | 4  | 3  | 4  | 4   | 90    |
| 42                 | R42       | 4                 | 3  | 3  | 4  | 4  | 3  | 4  | 4  | 3  | 3   | 87,5  |
| 43                 | R43       | 4                 | 3  | 3  | 4  | 4  | 4  | 3  | 4  | 4  | 3   | 90    |
| 44                 | R44       | 4                 | 4  | 3  | 3  | 4  | 4  | 4  | 3  | 4  | 3   | 90    |
| 45                 | R45       | 4                 | 4  | 3  | 4  | 4  | 4  | 4  | 3  | 4  | 3   | 92,5  |
| 46                 | R46       | 4                 | 4  | 3  | 4  | 4  | 3  | 3  | 4  | 4  | 4   | 92,5  |
| 47                 | R47       | 4                 | 4  | 3  | 4  | 4  | 4  | 4  | 3  | 4  | 3   | 92,5  |
| 48                 | R48       | 3                 | 3  | 4  | 3  | 4  | 4  | 3  | 3  | 4  | 3   | 85    |
| 49                 | R49       | 4                 | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 2   | 95    |
| 50                 | R50       | 3                 | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 1  | 3  | 3   | 70    |
| 51                 | R51       | 4                 | 3  | 4  | 4  | 3  | 3  | 4  | 4  | 4  | 3   | 90    |
| 52                 | R52       | 3                 | 3  | 3  | 4  | 4  | 4  | 4  | 3  | 3  | 4   | 87,5  |
| Jumlah Rata - Rata |           |                   |    |    |    |    |    |    |    |    |     | 86,44 |



Gambar 4.12 Penetapan Hasil Penilaian (Sumber: (Ependi, 2017))

Berdasarkan hasil penghitungan tingkat kepuasan pengguna terhadap sistem mitigasi *Urban Heat Island* yang terdapat pada Tabel 4.5, diperoleh skor rata-rata keseluruhan sebesar 86,44. Jika dibandingkan dengan skala penilaian dalam gambar yang mencakup tiga kategori yaitu *Not AccepTabel*, *Marginal*, dan *AccepTabel*, nilai rata-rata ini berada pada kategori *AccepTabel*, yang termasuk dalam rentang *Excellent* dengan *Grade B*. Hal ini menunjukkan bahwa sistem sudah diterima dengan baik oleh pengguna.

Dalam penilaian ini, *gradeB* dengan predikat *Excellent* mencerminkan bahwa mayoritas responden merasa puas terhadap sistem yang telah dirancang. Responden memberikan penilaian positif terhadap aspek-aspek seperti kemudahan penggunaan, kecepatan akses, desain antarmuka, dan fungsionalitas sistem terkait mitigasi *Urban Heat Island*. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mitigasi yang dibangun dapat diterima oleh pengguna dan dianggap mampu memberikan solusi yang diharapkan. Nilai rata-rata yang mencapai tingkat *Excellent* juga menandakan bahwa fitur-fitur dalam sistem sudah memenuhi kebutuhan dan ekspektasi pengguna secara umum, memberikan pengalaman yang baik, serta membantu

mereka dalam memanfaatkan informasi mengenai mitigasi *Urban Heat Island*. Kesederhanaan antarmuka pengguna dan kejelasan penyajian informasi menjadi aspek yang sangat mendukung efektivitas mitigasi *Urban Heat Island* di lingkungan perkotaan.

#### 4.3.2 Pengujian Solusi Mitigasi

Pada bagian ini, dilakukan pengujian terhadap solusi mitigasi yang diusulkan menggunakan metode *Deviation Analysis*. Pengujian ini bertujuan untuk menilai tingkat akurasi dari solusi mitigasi yang diterapkan pada preferensi material dan vegetasi. Metode *Deviation Analysis* digunakan untuk mengukur seberapa besar perbedaan antara nilai aktual dari solusi mitigasi dibandingkan dengan target ideal, baik untuk material maupun vegetasi.

Langkah pertama dalam *Deviation Analysis* adalah menentukan nilai Target Ideal dengan menggunakan nilai rata-rata dari seluruh kawasan. Target ideal ini digunakan sebagai acuan untuk menilai efektivitas mitigasi yang diterapkan pada setiap kawasan. Target ideal dihitung dengan menggunakan persamaan (3.2).

$$\text{Target Ideal} = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Fuzzy Material}_i + \text{Fuzzy Vegetasi}_i)}{n}$$

$$\text{Target Ideal Material} = \frac{0.415 + 0.415 + 0.401 + 0.406 + 0.415 + 0.415 + 0.415 + 0.415}{8}$$

$$\text{Target Ideal Material} = \frac{3.297}{8} = 0.412125$$

$$\text{Target Ideal Vegetasi} = \frac{0.181 + 0.181 + 0.176 + 0.178 + 0.181 + 0.18 + 0.181 + 0.181}{8}$$

$$\text{Target Ideal Material} = \frac{1.439}{8} = 0.179875$$

Nilai rata-rata ini kemudian digunakan sebagai target ideal untuk setiap kawasan, dengan harapan bahwa nilai preferensi material dan vegetasi di masing-

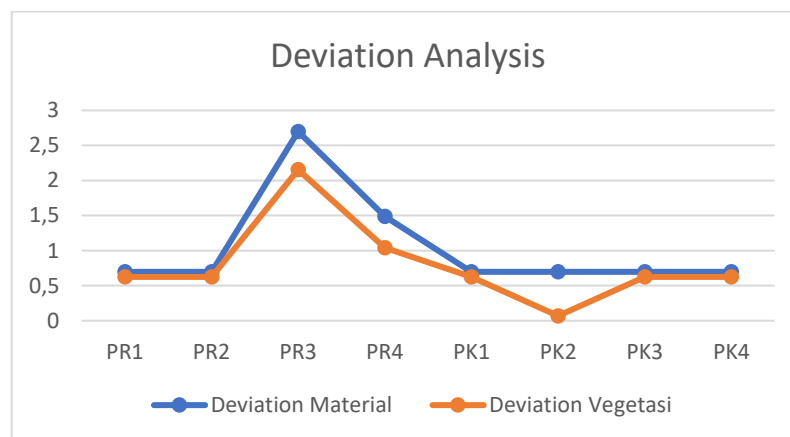
masing kawasan dapat mendekati nilai target ini. Setelah menentukan nilai target ideal, dilakukan perhitungan deviasi antara nilai aktual dengan target ideal pada setiap kawasan. Deviasi dihitung baik untuk material maupun vegetasi menggunakan rumus *Percentage Deviation* yang bertujuan untuk mengevaluasi seberapa besar perbedaan antara nilai aktual suatu kawasan dengan target ideal dalam bentuk persentase. Setiap nilai deviasi dihitung dengan menggunakan rumus (3.3). Perhitungan deviasi ini dilakukan untuk setiap kawasan guna mengetahui seberapa jauh nilai aktual di kawasan tersebut dari target ideal yang telah ditetapkan. Hasil perhitungan deviasi untuk masing-masing kawasan dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6 Evaluasi Mitigasi

| Kawasan                                   | Preferensi Material | Preferensi Vegetasi | Material | Vegetasi | Deviation Material | Deviation Vegetasi |
|-------------------------------------------|---------------------|---------------------|----------|----------|--------------------|--------------------|
| PR1                                       | -0,05               | -0,41               | 0,415    | 0,181    | 0,69760            | 0,62543            |
| PR2                                       | 1,1                 | 3,43                | 0,415    | 0,181    | 0,69760            | 0,62543            |
| PR3                                       | 0,69                | 2,06                | 0,401    | 0,176    | 2,69942            | 2,15427            |
| PR4                                       | 0,5                 | 1,42                | 0,406    | 0,178    | 1,48619            | 1,04239            |
| PK1                                       | 1,31                | 4,15                | 0,415    | 0,181    | 0,69760            | 0,62543            |
| PK2                                       | 0,43                | 1,18                | 0,415    | 0,18     | 0,69760            | 0,06949            |
| PK3                                       | 0,06                | -0,06               | 0,415    | 0,181    | 0,69760            | 0,62543            |
| PK4                                       | 0,01                | -0,22               | 0,415    | 0,181    | 0,69760            | 0,62543            |
| Rata-rata <i>percentage deviation</i> (%) |                     |                     |          |          | 1,04640            | 0,79916            |

Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa setiap kawasan memiliki nilai deviasi yang berbeda-beda. Rata-rata *Percentage Deviation* untuk material dan vegetasi dihitung untuk memberikan gambaran umum mengenai efektivitas mitigasi yang dilakukan di seluruh kawasan. Rata-rata *percentage deviation* untuk material adalah 1,0464 dan untuk vegetasi adalah 0,799. Nilai rata-rata deviasi ini memberikan informasi mengenai seberapa jauh nilai preferensi material dan vegetasi di setiap kawasan

dari target ideal. Semakin rendah nilai deviasi, semakin dekat nilai aktual dengan target ideal, yang menunjukkan bahwa mitigasi yang dilakukan cukup efektif. Sebaliknya, nilai deviasi yang tinggi menunjukkan adanya ketidaksesuaian yang signifikan antara nilai aktual dan target ideal, yang mengindikasikan perlunya penyesuaian dalam penerapan mitigasi.



Gambar 4.13 Evaluasi Mitigasi

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.13 dapat di analisis dengan memperhatikan pola deviasi antara material dan vegetasi di setiap kawasan (PR1, PR2, PR3, PR4, PK1, PK2, PK3, PK4). Secara umum, nilai deviasi pada sebagian besar kawasan menunjukkan hasil yang relatif baik, dengan beberapa kawasan yang memiliki penyimpangan lebih besar dari target ideal.

Pada kawasan PR1 dan PR2, nilai deviasi untuk material dan vegetasi terlihat relatif kecil dan konsisten, menunjukkan bahwa preferensi aktual di kawasan ini mendekati target ideal. Hal ini berarti bahwa mitigasi yang dilakukan di kawasan ini telah efektif dengan sedikit penyimpangan dari target yang diinginkan. Sebaliknya, kawasan PR3 menunjukkan nilai deviasi yang paling tinggi, baik untuk material maupun vegetasi, dengan *Deviation Material* mencapai sekitar 3 dan

*Deviation* Vegetasi mendekati 2,5. Penyimpangan yang signifikan ini menandakan bahwa mitigasi di kawasan PR3 perlu perhatian khusus dan tindakan lebih lanjut untuk mendekatkan hasil aktual ke target ideal.

Di kawasan PR4, meskipun deviasinya tidak setinggi PR3, terdapat peningkatan deviasi dibandingkan PR1 dan PR2, terutama pada material. Ini menunjukkan bahwa terdapat ketidaksesuaian yang lebih besar pada material dibandingkan vegetasi di kawasan ini, sehingga memerlukan perbaikan lebih lanjut untuk material agar dapat mendekati target ideal. Kawasan PK1 menunjukkan nilai deviasi yang mirip dengan PR1 dan PR2, sedangkan PK2 memiliki deviasi yang lebih rendah, terutama pada vegetasi. Hal ini mengindikasikan bahwa mitigasi di PK2 berjalan lebih baik dibandingkan kawasan lainnya, dan nilai preferensi aktualnya hampir mendekati target ideal.

Kawasan PK3 dan PK4 menunjukkan nilai deviasi yang serupa dengan kawasan PR1, PR2, dan PK1, dengan penyimpangan yang relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa mitigasi yang diterapkan di kawasan-kawasan ini cukup efektif dan mendekati target yang diharapkan. Secara keseluruhan, kawasan PR3 membutuhkan perhatian khusus karena memiliki nilai deviasi tertinggi, baik untuk material maupun vegetasi, yang mengindikasikan tidak efisien signifikan dalam mitigasi yang diterapkan. Selain itu, kawasan PR4 juga perlu perbaikan lebih lanjut, terutama pada material. Kawasan PK2 memiliki nilai deviasi terendah, menunjukkan bahwa mitigasi di kawasan ini paling efektif dalam mencapai target ideal. Kawasan lain seperti PR1, PR2, PK1, PK3, dan PK4 hanya memerlukan penyesuaian kecil untuk mempertahankan efektivitas mitigasi yang telah dicapai.

Nilai deviasi dari setiap kawasan dapat digunakan untuk menghitung tingkat akurasi mitigasi. Semakin rendah nilai deviasi, semakin baik tingkat akurasi mitigasi dalam mendekati target ideal. Oleh karena itu, untuk menilai efektivitas mitigasi secara keseluruhan, dihitung akurasi mitigasi menggunakan persamaan (3.4) sebagai berikut.

$$Akurasi\ Material = (1 - 0.010464058) \times 100$$

$$Akurasi\ Material = 98\ \%$$

$$Akurasi\ Vegetasi = (1 - 0.007991661) \times 100$$

$$Akurasi\ Vegetasi = 99\ \%$$

Nilai akurasi ini memberikan interpretasi seberapa dekat nilai aktual dengan target ideal secara keseluruhan. Berdasarkan hasil perhitungan, akurasi mitigasi untuk material adalah 98,88%, sedangkan akurasi mitigasi untuk vegetasi adalah 99,20%. Nilai akurasi yang tinggi ini menunjukkan bahwa mitigasi yang diterapkan telah cukup efektif dalam mendekati target ideal. Namun, terdapat beberapa kawasan yang memerlukan perbaikan lebih lanjut agar nilai preferensinya dapat lebih mendekati target ideal.

#### **4.3.3 Validasi Pengujian Solusi Mitigasi**

Pada tahap ini, dilakukan analisis terhadap validasi solusi mitigasi *Urban Heat Island* yang dirancang untuk Kota Malang. Validasi ini dilakukan melalui kuesioner yang disebarakan kepada tenaga ahli dari Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kota Malang. Responden dipilih dari kalangan tenaga ahli dan perencana yang memiliki pemahaman mendalam terkait

perencanaan wilayah dan isu lingkungan perkotaan. Tujuan dari validasi ini adalah untuk mengukur sejauh mana solusi mitigasi yang diajukan memenuhi kebutuhan setempat dan relevan dengan kondisi perkotaan yang ada.

Pengukuran validasi dilakukan dengan menggunakan kuesioner yang terdiri dari 10 pertanyaan, yang masing-masing mengukur aspek-aspek spesifik dari efektivitas solusi mitigasi *Urban Heat Island*. Setiap pertanyaan diberi skor dalam rentang 1 hingga 5, di mana skor 5 menunjukkan tingkat kepuasan tertinggi terhadap solusi yang diajukan. Skor maksimal dihitung berdasarkan perkalian antara jumlah pertanyaan dan nilai maksimal setiap jawaban, yaitu 5. Dalam konteks ini, skor maksimal yang dapat diperoleh setiap responden adalah 50. Persentase penilaian dihitung dengan rumus:

$$\text{Persentase} = \frac{\text{Jumlah Skor}}{\text{Skor Maksimal}} \times 100\% \quad (4.1)$$

Tabel 4.7 menyajikan hasil validasi solusi mitigasi *Urban Heat Island* yang dilakukan melalui kuesioner, yang disebarkan kepada tenaga ahli dan perencana dari Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kota Malang.

Tabel 4. 7 Hasil Validasi

| No | Nama        | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 | Q9 | Q10 | Total Skor | %    | Rata Rata |
|----|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|------------|------|-----------|
| 1. | Ahli 1      | 5  | 5  | 5  | 5  | 4  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5   | 49         | 98%  | 92%       |
| 2. | Ahli 2      | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5   | 50         | 100% |           |
| 3. | Perencana 1 | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5   | 50         | 100% |           |
| 4. | Perencana 2 | 4  | 4  | 5  | 5  | 4  | 4  | 4  | 4  | 5  | 4   | 43         | 86%  |           |
| 5. | Perencana 3 | 5  | 2  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 4  | 5  | 5   | 46         | 92%  |           |
| 6. | Perencana 4 | 4  | 3  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4   | 39         | 78%  |           |

Hasil mitigasi *Urban Heat Island* (UHI) pada berbagai kawasan menunjukkan bahwa penggunaan material dan vegetasi berperan penting dalam mengurangi suhu lingkungan perkotaan. Hasil dari kuesioner menunjukkan secara keseluruhan, rata-rata persentase yang diperoleh adalah 92%, yang menunjukkan bahwa solusi mitigasi yang telah dilakukan ini relevan dengan kebutuhan perkotaan dan diharapkan mampu mengatasi masalah *Urban Heat Island* di Kota Malang secara efektif. Tingkat kepuasan yang tinggi ini menandakan bahwa para ahli menilai solusi mitigasi yang mencakup peningkatan vegetasi, penggunaan material bangunan beralbedo tinggi merupakan langkah yang sesuai dan efektif untuk mengatasi masalah *Urban Heat Island* di Kota Malang. Namun demikian, perlu ditekankan bahwa persentase kontribusi yang diperoleh bersifat prediktif dan hanya memberikan gambaran tentang efektivitas solusi mitigasi berdasarkan hasil perhitungan model yang digunakan. Oleh karena itu, untuk memperoleh gambaran yang lebih akurat mengenai kontribusi mitigasi, solusi yang telah diusulkan perlu dilakukan penerapannya terlebih dahulu di lapangan. Sehingga hasil tersebut masih bersifat estimasi dan memerlukan verifikasi lebih lanjut melalui pengukuran di lapangan untuk memastikan efektivitas solusi mitigasi.

Tim ahli menyatakan bahwa solusi mitigasi yang diterapkan di Kawasan PR1, PR2, PR4, PK1, PK2, PK3, dan PK4 sudah sesuai dengan kebutuhan lingkungan setempat dan dinilai efektif dalam mengurangi dampak *Urban Heat Island*. Namun demikian, terdapat ketidaksesuaian dalam solusi mitigasi yang diterapkan di Kawasan PR3. Solusi mitigasi yang menitikberatkan pada penggunaan dinding sebagai material mitigasi utama dinilai kurang optimal dibandingkan dengan

alternatif lain seperti peningkatan albedo pada atap atau jalan. Hal ini disebabkan oleh karakteristik bangunan di kawasan tersebut yang memiliki permukaan dinding dengan eksposur sinar matahari yang lebih rendah dibandingkan dengan permukaan atap atau jalan.

#### **4.4 Integrasi Islam**

Islam memberikan perhatian besar terhadap lingkungan dan keseimbangan alam sebagai salah satu aspek penting dari kehidupan. Integrasi nilai-nilai Islam dalam mitigasi *Urban Heat Island* merupakan upaya untuk memastikan bahwa setiap tindakan manusia dalam menjaga lingkungan tetap sesuai dengan ajaran agama, yang menekankan tanggung jawab untuk merawat bumi. Mitigasi *Urban Heat Island* tidak hanya melibatkan pendekatan teknis tetapi juga spiritual, di mana ajaran Islam tentang keberlanjutan, tanggung jawab terhadap alam, serta perlindungan makhluk hidup dapat diimplementasikan secara menyeluruh. Dalam upaya mitigasi *Urban Heat Island*, konsep integrasi sebagai salah satu bentuk hubungan manusia baik dengan Allah (*hablumminallah*) dan sesama manusia (*habluminannas*), menjadi landasan dalam mengarahkan perilaku dan tindakan manusia untuk menjaga lingkungan.

##### **4.4.1 Hablumminallah**

*Hablumminallah* adalah bentuk hubungan manusia dengan Allah yang berlandaskan ketaatan dan kesadaran penuh akan tanggung jawab menjaga lingkungan. Setiap tindakan mitigasi hendaknya dimulai dengan niat untuk menjaga amanah Allah, yakni bumi yang telah Dia percayakan kepada manusia. Sebagai

perwujudan muamalah ini, Allah memerintahkan manusia untuk bertakwa dan merenungkan dampak dari setiap tindakan terhadap lingkungan, sebagaimana disebutkan dalam Surah At-Taubah ayat 109:

أَفَمَنْ أَسَّسَ بُنْيَانَهُ عَلَى تَقْوَىٰ مِنَ اللَّهِ وَرِضْوَانٍ خَيْرٌ أَمْ مَنْ أَسَّسَ بُنْيَانَهُ عَلَىٰ شَفَا جُرُفٍ هَارٍ فَانْهَارَ بِهِ فِي نَارِ جَهَنَّمَ وَاللَّهُ لَا يَهْدِي الْقَوْمَ الظَّالِمِينَ ﴿١٠٩﴾

*"Maka, apakah orang-orang yang mendirikan bangunannya (masjid) atas dasar takwa kepada Allah dan rida(-Nya) itu lebih baik, ataukah orang-orang yang mendirikan bangunannya di sisi tepian jurang yang nyaris runtuh, lalu (bangunan) itu roboh bersama-sama dengan dia ke dalam neraka Jahanam? Allah tidak memberi petunjuk kepada kaum yang zalim." (Q.S. At-Taubah: 109) (KEMENAG, 2019).*

Menurut tafsir Ibnu Katsir, ayat ini membandingkan orang-orang yang membangun masjid dengan niat tulus demi takwa kepada Allah dan rida-Nya dengan mereka yang mendirikan masjid dengan niat buruk, seperti menciptakan perpecahan, menyesatkan orang-orang beriman, dan membantu musuh-musuh Islam (Syaiikh, n.d.). Bangunan yang berdiri di atas dasar keburukan itu diibaratkan seperti sebuah struktur yang dibangun di tepi jurang yang nyaris ambruk, yang akhirnya akan runtuh bersama orang-orang yang mendirikanannya. Sebaliknya, masjid yang dibangun dengan ketulusan diumpamakan sebagai bangunan yang berdiri di atas fondasi yang kokoh dan kuat, melambangkan keberkahan serta kestabilan dalam ketaatan kepada Allah.

Sementara itu, tafsir Jalalain menjelaskan bahwa ayat ini menggunakan perumpamaan untuk membandingkan masjid yang didirikan dengan ketakwaan kepada Allah seperti Masjid Quba, sedangkan masjid yang dibangun dengan tujuan selain dari ibadah diibaratkan seperti Masjid Dirar (Jalaluddin Al-Mahalli, 2023).

Masjid yang dibangun tanpa ketakwaan diumpamakan sebagai bangunan yang berdiri di tepi jurang yang hampir runtuh, yang kemudian ambruk bersama orang-orang yang membangunnya ke dalam siksa neraka. Tafsir ini menegaskan bahwa bangunan yang tidak didasarkan pada takwa akan berujung pada kehancuran, baik secara fisik maupun spiritual (Jalaluddin Al-Mahalli, 2023).

Kedua tafsir memiliki kesamaan dalam menjelaskan bahwa ayat ini menggunakan perumpamaan untuk menggambarkan perbedaan antara bangunan yang didirikan atas dasar ketakwaan dan bangunan yang dibangun dengan niat buruk, serta menegaskan bahwa Masjid Dirar merupakan contoh konkret dari bangunan yang berujung pada kehancuran. Namun, terdapat perbedaan dalam pendekatan yang digunakan, tafsir Ibnu Katsir lebih menitikberatkan pada motif dan konsekuensi dari pembangunan masjid yang tidak didasarkan pada ketakwaan, sedangkan tafsir Jalalain lebih berfokus pada aspek linguistik serta perbandingan eksplisit antara Masjid Quba yang dibangun atas dasar ketakwaan dan Masjid Dirar yang memiliki tujuan merusak persatuan kaum Muslim.

Dalam konteks *Urban Heat Island* (UHI), pembangunan yang tidak didasarkan pada prinsip keberlanjutan dan kepentingan lingkungan dapat membawa dampak negatif bagi ekosistem dan masyarakat. Sebagaimana dalam tafsir Ibnu Katsir dan Jalalain dijelaskan bahwa bangunan yang didirikan tanpa ketakwaan akan berujung pada kehancuran, demikian pula pembangunan yang hanya berorientasi pada kepentingan pribadi, tanpa mempertimbangkan keseimbangan ekologi, dapat menyebabkan degradasi lingkungan, peningkatan suhu perkotaan, serta berkurangnya kualitas hidup. Pembangunan yang tidak memperhatikan aspek

lingkungan, seperti penggunaan material dengan albedo rendah dan minimnya ruang hijau, dapat memperburuk efek UHI, layaknya Masjid Dirar yang dibangun tanpa ketakwaan dan justru merugikan umat. Oleh karena itu, prinsip pembangunan berkelanjutan yang berlandaskan tanggung jawab terhadap lingkungan sejalan dengan nilai-nilai Islam yang menekankan keseimbangan dan kemaslahatan bersama.

#### 4.4.2 Habluminannas

Al-Quran mengajarkan pentingnya kerja sama untuk mencapai kebaikan bersama. Dalam kehidupan sehari-hari, kolaborasi antara individu dan komunitas menjadi kunci untuk menciptakan lingkungan yang sehat dan berkelanjutan. Prinsip kerja sama ini sejalan dengan ajaran Islam yang menekankan solidaritas dan tanggung jawab sosial. Dalam konteks mitigasi *Urban Heat Island*, hubungan antar manusia menjadi sangat relevan. Al-Qur'an mengajak umatnya untuk bekerja sama dalam menjaga lingkungan dan mencapai tujuan bersama. Sebagai mana yang dijelaskan pada Surah At-Taubah ayat 71:

وَالْمُؤْمِنُونَ وَالْمُؤْمِنَاتُ بَعْضُهُمْ أَوْلِيَاءُ بَعْضٍ يَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَيَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَيُقِيمُونَ الصَّلَاةَ وَيُؤْتُونَ الزَّكَاةَ وَيُطِيعُونَ اللَّهَ وَرَسُولَهُ ۚ أُولَٰئِكَ سَيَرْحَمُهُمُ اللَّهُ إِنَّ اللَّهَ عَزِيزٌ حَكِيمٌ ﴿٧١﴾

*“Orang-orang mukmin, laki-laki dan perempuan, sebagian mereka menjadi penolong bagi sebagian yang lain. Mereka menyuruh (berbuat) makruf dan mencegah (berbuat) mungkar, menegakkan salat, menunaikan zakat, dan taat kepada Allah dan Rasul-Nya. Mereka akan diberi rahmat oleh Allah. Sesungguhnya Allah Mahaperkasa lagi Mahabijaksana.” (QS. At-Taubah: 71)*

Berdasarkan tafsir tahlili, solidaritas antara orang-orang mukmin, baik pria maupun wanita, yang saling mendukung dalam kebaikan (Kemenag, 2008). Hal ini

menciptakan dasar bagi kolaborasi yang sangat dibutuhkan untuk menjaga lingkungan, terutama dalam menghadapi tantangan *Urban Heat Island*. Tindakan kolektif, seperti penanaman pohon dan pengembangan ruang terbuka hijau, menjadi sangat penting dan mencerminkan sifat-sifat positif orang mukmin yang mengajak kepada kebaikan serta mencegah kemungkaran. Dengan memahami nilai-nilai solidaritas dan tanggung jawab sosial dalam ajaran Al-Quran, prinsip-prinsip ini dapat diintegrasikan ke dalam tindakan kolektif demi kesejahteraan bersama dan keberlanjutan lingkungan (Kemenag, 2008). Melalui pendekatan ini, peran umat Islam dalam menciptakan lingkungan yang lebih baik dan berkelanjutan untuk generasi mendatang semakin diperkuat, menunjukkan bahwa keimanan mencakup aspek spiritual sekaligus tanggung jawab sosial terhadap lingkungan. Sebagaimana Rasulullah pernah bersabda:

مَنْ نَفَسَ عَنْ مُؤْمِنٍ كُرْبَةً مِنْ كُرْبِ الدُّنْيَا، نَفَسَ اللَّهُ عَنْهُ كُرْبَةً مِنْ كُرْبِ يَوْمِ الْقِيَامَةِ

*“Barang siapa yang menghilangkan suatu kesusahan dari seorang mukmin di dunia, maka Allah akan menghilangkan darinya kesusahan di hari kiamat.” (HR. Muslim)*

Hadis ini menegaskan bahwa pentingnya tanggung jawab sosial sebagai bagian dari keimanan, yang tidak hanya berfokus pada kepentingan pribadi tetapi juga pada kepedulian terhadap kesejahteraan orang lain dan lingkungan (Muhammad, 2017). Dalam Islam, menjaga alam adalah amanah yang harus dipenuhi sebagai wujud bakti kepada Allah, serta demi keberlanjutan bagi generasi mendatang. Kolaborasi masyarakat dalam aksi penghijauan, pemilihan bahan bangunan ramah lingkungan, dapat membantu menciptakan lingkungan yang lebih

nyaman dan sehat. Dengan menjalankan tanggung jawab ini, menciptakan kemaslahatan bersama, sehingga setiap tindakan menjaga lingkungan bukan hanya menjadi amal baik di dunia, tetapi juga bernilai ibadah yang akan membawa kebaikan di akhirat.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Kota Malang mengalami perkembangan pesat yang menyebabkan berkurangnya ruang terbuka hijau, sehingga suhu udara meningkat dan memicu fenomena *Urban Heat Island* (UHI). Fenomena ini berdampak buruk pada lingkungan dan kesehatan manusia, bahkan berisiko fatal jika tidak segera ditangani. Penelitian ini menemukan bahwa kombinasi albedo material dan vegetasi dapat menjadi solusi efektif dalam mengurangi suhu perkotaan dan memperbaiki kualitas udara. Hasil perhitungan menggunakan *Deviation Analysis* menunjukkan akurasi solusi albedo material sebesar 98% dan vegetasi sebesar 99%. Validasi yang dilakukan oleh BAPPEDA Kota Malang, yang melibatkan 6 orang tim ahli, menunjukkan tingkat kebenaran solusi mencapai 92%, yang membuktikan bahwa metode ini relevan dengan kebutuhan kota dalam mengatasi UHI. Selain itu, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini diuji menggunakan metode *System Usability Scale* (SUS) dengan melibatkan 55 responden, terdiri dari mahasiswa, pemerintah, dan peneliti. Hasil pengujian menunjukkan skor rata-rata 86,44, yang masuk dalam kategori sangat baik (*Excellent*). Hal ini menunjukkan bahwa sistem dapat diterima dengan baik dan memberikan manfaat, terutama bagi pemerintah dalam menyusun kebijakan yang lebih efektif untuk mengatasi *Urban Heat Island* di Kota Malang.

## 5.2 Saran

Penelitian ini didasarkan pada pengembangan dari penelitian sebelumnya mengenai prediksi fenomena *Urban Heat Island* di Kota Malang. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan rekomendasi solusi mitigasi yang lebih tepat dengan tingkat akurasi tinggi yang telah divalidasi oleh ahli dari Pemerintah Kota Malang. Oleh karena itu, penelitian ini masih memiliki berbagai keterbatasan yang perlu ditingkatkan di masa mendatang, seperti:

1. Penambahan Data dan Kawasan Studi: Untuk memperoleh hasil penelitian yang lebih komprehensif, disarankan agar cakupan data dan kawasan studi diperluas. Hal ini akan memastikan bahwa solusi mitigasi yang dihasilkan dapat diimplementasikan secara efektif di seluruh wilayah Kota Malang, sehingga hasil penelitian dapat lebih representatif dan implementasinya dapat merata.
2. Diversifikasi Solusi Mitigasi: Solusi mitigasi yang digunakan perlu lebih beragam, tidak hanya terbatas pada albedo material (seperti dinding, jalan, atap) dan vegetasi (taman, koridor, dan penutupan lahan), tetapi juga mencakup aspek lain yang relevan.
3. Inovasi dalam Metode Mitigasi: Selain menggunakan *Decision Support System* (DSS) untuk menemukan solusi mitigasi, diperlukan inovasi metode baru yang dapat memberikan pendekatan lebih efisien dan efektif dalam mengatasi fenomena UHI. Pengembangan metode yang berbasis teknologi dan integrasi data real-time dapat membantu mempercepat pengambilan keputusan mitigasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alchapar, N. L., Colli, M. F., & Correa, E. N. (2020). Albedo Quantification Using Remote Sensing Techniques. Cool Roof in the Metropolitan Area of Mendoza-Argentina. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 503(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/503/1/012035>
- Alwin, M., & Saleh, A. (2021). Penentuan Kualitas Air Sumur Bor Menggunakan Metode Fuzzy Sugeno. *Journal of Sciencetech Research and Development*, 3(2), 59–69. <http://idm.or.id/JSCR>
- Arif, Y. M., Kusumadewi, T., Karami, A. F., A'rof, B. G. F., Wijayanti, L., & Mulyadi, M. (2024). A Novel Digital Twin Framework for Adaptive Urban Weather Visualization Using IoT and Fuzzy Logic. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, 17(5), 494–507. <https://doi.org/10.22266/ijies2024.1031.39>
- Arif, Y. M., Rohma, S. A., Nurhayati, H., Kusumadewi, T., Nugroho, F., & Karami, A. F. (2024). Improving Urban Heat Island Predictions Using Support Vector Regression and Multi-Sensor Remote Sensing: A Case Study in Malang. *Register: Jurnal Ilmiah Teknologi Sistem Informasi*, 10(2), 175–189. <https://doi.org/10.26594/register.v10i2.5022>
- Auliya, D. F., Marlyana, N., & Fatmawati, W. (2021). Analisis Penentuan Faktor Pendorong dalam Penerapan Green Manufacturing di PT. Aneka Adhilogam Karya dengan Metode Fuzzy Topsis. *Jurnal Teknik Industri*, 11(2), 156–163. <https://doi.org/10.25105/jti.v11i2.9708>
- Azizah, V., Deffinika, I., & Arinta, D. (2022). The Effect of Land Use Changes on Land Surface Temperature in Malang City's on 2016 - 2020. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1066(1), 012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1066/1/012006>
- Chakraborty, T., Hsu, A., Manya, D., & Sheriff, G. (2020). A spatially explicit surface urban heat island database for the United States: Characterization, uncertainties, and possible applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 168(April), 74–88. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.07.021>
- Chaston, T. B., Broome, R. A., Cooper, N., Duck, G., Geromboux, C., Guo, Y., Ji, F., Perkins-Kirkpatrick, S., Zhang, Y., Dissanayake, G. S., Morgan, G. G., & Hanigan, I. C. (2022). Mortality Burden of Heatwaves in Sydney, Australia Is Exacerbated by the Urban Heat Island and Climate Change: Can Tree Cover Help Mitigate the Health Impacts? *Atmosphere*, 13(5), 1–13. <https://doi.org/10.3390/atmos13050714>
- Damastuti, F. A., Firmansyah, K., Arif, Y. M., Dutono, T., Barakbah, A., & Hariadi, M. (2024). Dynamic Level of Difficulties Using Q-Learning and Fuzzy Logic. *IEEE Access*, July. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3457801>

- Dharmawan, D. (2024). Application of TOPSIS Method to Design a Decision Support System in Assessing Teachers Performance. *Jurnal Informasi Dan Teknologi*, 64–69. <https://doi.org/10.60083/jidt.v6i1.474>
- Djira, G. D., & Macwan, S. P. (2011). *Prediction Bands for Ratios of Measurements With. 90*.
- Dobošová, L., Hupková, D., Švikruhová, P., Beňuš, O., & Gurčík, L. (2022). Analysis of Deviations - the Role of Controlling in Small and Medium Sized Agricultural Enterprises. *Agris On-Line Papers in Economics and Informatics*, 14(1), 33–43. <https://doi.org/10.7160/aol.2022.140103>
- Ependi, U. (2017). System usability scale for Palembang guide interface as supporting media for the XVIII Asian Games. *Journal of Information Systems Engineering and Business Intelligence Pp* 80-86.
- Fauzi, A., & Setiawan, E. (2021). Evaluasi Lokasi Tpa Sampah Di Kabupaten Klaten, Indonesia Dengan Metode Topsis. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 9(1), 19. <https://doi.org/10.24912/jitiuntar.v9i1.9457>
- GIYASOV, B. I., & GUROVICH, B. M. (2022). INFLUENCE OF ARCHITECTURE AND PLANNING STRUCTURE MODERN URBAN DEVELOPMENT FOR ECOLOGY ENVIRONMENT. *Building and Reconstruction*, 103(5), 94–103. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2022-103-5-94-103>
- Han, D., Zhang, T., Qin, Y., Tan, Y., & Liu, J. (2023). A comparative review on the mitigation strategies of urban heat island (UHI): a pathway for sustainable urban development. *Climate and Development*, 15(5), 379–403. <https://doi.org/10.1080/17565529.2022.2092051>
- Handayani, N. (2022). Pemilihan Area Pengembangan Ruang Terbuka Hijau Menggunakan Metode AHP dan TOPSIS di Kota Yogyakarta. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 3(12), 1317–1334. <https://doi.org/10.36418/jist.v3i12.550>
- Hatefi, M. A. (2023). An Improved Rank Order Centroid Method (IROC) for Criteria Weight Estimation: An Application in the Engine/Vehicle Selection Problem. *Informatica*, 249–270. <https://doi.org/10.15388/23-INFOR507>
- He, B. J. (2019). Towards the next generation of green building for urban heat island mitigation: Zero UHI impact building. *Sustainable Cities and Society*, 50(di), 101647. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101647>
- Imadudinna, A. H., Widodo, W. H. S., & Sasongko, I. (2023). Influencing Factors Determination Land Use Change Trend in the Pheryurban Area of Malang City Based On V-Cramer. *Jurnal Spatial Wahana Komunikasi Dan Informasi Geografi*, 23(1), 60–69. <https://doi.org/10.21009/spatial.231.05>
- Imran Hassan, & Suman Kar. (2023). The application of fuzzy logic techniques to improve decision making in apparel size. *World Journal of Advanced*

*Research and Reviews*, 19(2), 607–615.  
<https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.19.2.1576>

Irfeey, A. M. M., Chau, H.-W., Sumaiya, M. M. F., Wai, C. Y., Muttill, N., & Jamei, E. (2023). Sustainable Mitigation Strategies for Urban Heat Island Effects in Urban Areas. *Sustainability*, 15(14), 10767.  
<https://doi.org/10.3390/su151410767>

J.A. Yunita, H., Musyirifah, & Wajidi, F. (2023). Sistem Pendukung Keputusan Penerima Bantuan Bencana Alam Menggunakan Metode Topsis (Studi Kasus: Kantor Badan Penanggulangan Bencana Daerah (Bpbd) Kabupaten Majene). *J-Icon : Jurnal Informatika Dan Komputer*, 11(2), 185–194.  
<https://doi.org/10.35508/jicon.v11.i2.11178>

Jabbar, H. K., Hamoodi, M. N., & Al-Hameedawi, A. N. (2023). Urban heat islands: a review of contributing factors, effects and data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1129(1), 012038.  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1129/1/012038>

Jalaluddin Al-Mahalli, J. A.-S. (2023). *Tafsir Jalalain*.

Kamali Saraji, M., & Streimikiene, D. (2024). An analysis of challenges to the low-carbon energy transition toward sustainable energy development using an IFCM-TOPSIS approach: A case study. *Journal of Innovation and Knowledge*, 9(2), 100496. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2024.100496>

Kemenag. (2008). Al-Qur'an dan Tafsirnya. In *Widya Cahaya*, Jakarta.  
<https://pustakalajnah.kemenag.go.id/detail/80>

KEMENAG. (2019). *Al-Qur'an dan Terjemahannya Edisi Penyempurnaan*. Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an.  
<https://pustakalajnah.kemenag.go.id/detail/135>

Khare, V. R., Vajpai, A., & Gupta, D. (2021). A big picture of urban heat island mitigation strategies and recommendation for India. *Urban Climate*, 37(March), 100845. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100845>

Kibler, C. L., Trugman, A. T., Roberts, D. A., Still, C. J., Scott, R. L., Caylor, K. K., Stella, J. C., & Singer, M. B. (2023). Evapotranspiration regulates leaf temperature and respiration in dryland vegetation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 339, 109560. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109560>

Krimgold, F. (1986). Mitigation. *Prehospital and Disaster Medicine*, 2(1–4), 31–33. <https://doi.org/10.1017/S1049023X00030302>

Kulkarni, A., & Pathak, R. (2023). Circular Economy Industry 4.0 Technologies Using TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution Method). *REST Journal on Emerging Trends in Modelling and Manufacturing*, 9(1), 6–17. <https://doi.org/10.46632/jemm/9/1/2>

Kumar, P. G., Tejaswini, V., Rao, P. K., & Jaya Shankar, G. (2020). Disaster

mitigation and its strategies in a global context - a state of the art. *Materials Today: Proceedings*, 45(xxxx), 6488–6492. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.369>

La Beu, D. N., Boling, A. A., Fua, A. C. H., & Kaesmetan, Y. R. (2024). Sistem Pendukung Keputusan Seleksi Pemilihan Perguruan Tinggi Terbaik Menggunakan Metode Topsis. *Dinamik*, 29(2), 94–99. <https://doi.org/10.35315/dinamik.v29i2.9677>

Li, D., Yan, S., & Chen, G. (2023). Effects of Urban Redevelopment on Surface Urban Heat Island. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 16, 2366–2373. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2023.3245826>

Loe, A. T., Abdullah, F., & Mardiasih, N. C. (2022). Faktor Pendorong dan Penarik Migrasi Penduduk di Perkotaan (Kasus Migran Atambua di Kota Malang). *Journal of Regional Economics Indonesia*, 3(1), 61–72. <https://doi.org/10.26905/jrei.v3i1.8010>

Martilli, A., Krayenhoff, E. S., & Nazarian, N. (2020). Is the Urban Heat Island intensity relevant for heat mitigation studies? *Urban Climate*, 31(January 2019), 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100541>

Muhammad, F. A. B. (2017). Shahih Bukhori Muslim. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 1). [http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484\\_SISTEM\\_PEMBETUNGAN\\_TERPUSAT\\_STRATEGI\\_MELESTARI](http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI)

Muharlisiani, L. T., Mulawarman, W. G., Suwarni, S., S, U., Hutahaeen, B., & Rahim, R. (2023). Designing a Decision Support System for Educational Resource Allocation. *AL-ISHLAH: Jurnal Pendidikan*, 15(3). <https://doi.org/10.35445/alishlah.v15i3.4120>

Nasution, M. I., Fadlil, A., & Sunardi, S. (2022). Perbandingan Metode AHP dan TOPSIS untuk Pemilihan Karyawan Berprestasi. *Jurnal Media Informatika Budidarma*, 6(3), 1712. <https://doi.org/10.30865/mib.v6i3.4194>

Nicholas, F. (2023). Synchronization of the Transfer of the Indonesian State Capital According to Law Number 3 of 2022 Concerning the State Capital with the 1945 Constitution and Applicable Positive Laws. *Asian Journal of Social and Humanities*, 1(07), 296–301. <https://doi.org/10.59888/ajosh.v1i07.34>

Nurhayati, H., Arif, Y. M., Karami, A. F., Nugroho, F., Safitri, P. M. N., & Hakim, E. R. (2023). Determining Mathematics Subject Materials For Learning Media Using Fuzzy Mamdani Based on Initial Evaluation Criteria. *2023 International Electronics Symposium (IES)*, 649–654. <https://doi.org/10.1109/IES59143.2023.10242562>

- Pare, S., Tallulembang, T. M., & Latif, A. (2023). Decision Support System for Admission of Regional Government Scholarships in Merauke Regency Using the TOPSIS Method. *European Journal of Engineering and Technology Research*, 8(3), 80–85. <https://doi.org/10.24018/ejeng.2023.8.3.3055>
- Pasetto, M., Baliello, A., Pasquini, E., & Giacomello, G. (2020). High albedo pavement materials. In *Eco-efficient Materials for Reducing Cooling Needs in Buildings and Construction: Design, Properties and Applications*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820791-8.00002-X>
- Plekhanova, E., Kim, J.-S., Oehri, J., Erb, A., Schaaf, C., & Schaepman-Strub, G. (2022). Mid-summer snow-free albedo across the Arctic tundra was mostly stable or increased over the past two decades. *Environmental Research Letters*, 17(12), 124026. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aca5a1>
- Pramuditia, A. cahya. (2023). Pengujian Usability Pada Prototype Sistem. *Jurnal Teknik Informatika*, 2(2), 0–5.
- Prayogo, B., & Yudisaputro, H. (2023). Leveraging A Multi-Criteria Decision-Making Approach with AHP & TOPSIS Method for the Selection of IoT-Based Inverter Smart Grid System and Smart Meter in Solar Photovoltaic and Wind Turbine Installations at Pelabuhan Ratu CFPP. *Jurnal Energi Dan Ketenagalistrikan*, 1(2), 118–131. <https://doi.org/10.33322/juke.v1i2.22>
- Putri, M. A. N. (2023). Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan SMA Berbasis Web Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process (Ahp) dan Topsis. *Syntax Literate ; Jurnal Ilmiah Indonesia*, 8(9), 4859–4875. <https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v8i9.13435>
- Qi, J., Ding, L., & Lim, S. (2020). Ontology-based knowledge representation of urban heat island mitigation strategies. *Sustainable Cities and Society*, 52(April 2019), 101875. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101875>
- Qureshi, A. M., & Rachid, A. (2021). Review and comparative study of decision support tools for the mitigation of urban heat stress. *Climate*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/cli9060102>
- Ramesh, G. S., Rajini Kanth, T. V., & Vasumathi, D. (2020). *A Comparative Study of Data Mining Tools and Techniques for Business Intelligence* (pp. 163–173). [https://doi.org/10.1007/978-981-13-8253-6\\_15](https://doi.org/10.1007/978-981-13-8253-6_15)
- Resmi, M. G., & Muttaqin, M. R. (2020). Penentuan Kelayakan Survei Kredit Calon Nasabah Menggunakan Metode Topsis Berbasis Web. *INTECOMS: Journal of Information Technology and Computer Science*, 3(2), 121–128. <https://doi.org/10.31539/intecom.v3i2.1468>
- Risfandini, A., Thoyib, A., Noermijati, N., & Mugiono, M. (2023). *The Determinant Factors of Tourism Destination Competitiveness and Destination Management: A Case Study from Malang City* (pp. 879–886). [https://doi.org/10.2991/978-94-6463-008-4\\_110](https://doi.org/10.2991/978-94-6463-008-4_110)

- Rohma, S. A., Arif, Y. M., Karami, A. F., Kusumadewi, T., Nugroho, F., & Nurhayati, H. (2024). Comparative Analysis of Machine Learning Models for Urban Heat Island Prediction in Malang City Using Remote Sensing Data. *2024 12th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/CITSM64103.2024.10775501>
- Roxon, J., Ulm, F. J., & Pellenq, R. J. M. (2020). Urban heat island impact on state residential energy cost and CO<sub>2</sub> emissions in the United States. *Urban Climate*, 31(October 2019), 100546. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100546>
- Safitri, A. H., Wibowo Almais, A. T., Syauqi, A., & Melani, R. I. (2022). Pengujian Optimization dan Non-Optimization Query Metode Topsis untuk Menentukan Tingkat Kerusakan Sektor Bencana Alam. *Jurnal ELTIKOM*, 6(1), 89–99. <https://doi.org/10.31961/eltikom.v6i1.532>
- Sihombing, F. A. (2024). *Kajian Fuzzy Metode Mamdani dan Fuzzy Metode Sugeno serta Implementasinya*. 4, 4940–4955.
- Singh, V., Dube, M., Nagasampige, M., & Trivedi, R. (2024). TOPSIS-based factor analytic model for the assessment of agricultural development in the state of Uttar Pradesh, India. *Opsearch*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s12597-024-00778-w>
- Sitinjak, B. R., Panjaitan, B. A., Ram, A., & Andani, S. R. (2024). *Penerapan Metode Fuzzy Sugeno Dalam Penentuan Jumlah Produksi Minyak Goreng (Studi Kasus : Minyak Goreng Fortune )*. 2(2).
- Smoliak, B. V., Gelobter, M., & Haley, J. T. (2022). Mapping potential surface contributions to reflected solar radiation. *Environmental Research Communications*, 4(6), 065003. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ac7a25>
- Studi, P., Elektro, T., Islam, U., & Agung, S. (2022). Pengukuran Kecepatan Menggunakan Sensor GNSS. *TRANSISTOR Elektro Dan Informatika*, 4(3), 217–225. <https://jurnal.unissula.ac.id/index.php/EI/article/view/29696>
- Surjati, E., & Wiwoho, B. S. (2023). *Urban heat island phenomenon in the early and peak periods of Covid-19 cases*. 050108. <https://doi.org/10.1063/5.0118138>
- Sutrisna, N. (2023). Penerapan Standar Pengembangan Rth Untuk Lingkungan Berkualitas. *STANDAR: Better Standard Better Living*, 2(5), 11–16. <https://majalah.bsilhk.menlhk.go.id/index.php/STANDAR/article/view/163>
- Syaikh, D. A. bin M. bin A. bin I. A. (n.d.). *Tafsir Ibnu Katsir*. Pustaka Imam Asy Syafii.
- Tafsir Wajiz Jilid I, Bagian 1* (Vol. 27). (2009). Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an.
- Tao, P., Lin, Y., Wang, X., Li, J., Ma, C., Wang, Z., Dong, X., Yao, P., & Shao, M.

- (2023). Optimization of Green Spaces in Plain Urban Areas to Enhance Carbon Sequestration. *Land*, 12(6), 1218. <https://doi.org/10.3390/land12061218>
- Tay, H. L., Banomyong, R., Varadejsatitwong, P., & Julagasigorn, P. (2022). Mitigating Risks in the Disaster Management Cycle. *Advances in Civil Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/7454760>
- Ulpiani, G. (2021). On the linkage between urban heat island and urban pollution island: Three-decade literature review towards a conceptual framework. *Science of the Total Environment*, 751, 141727. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141727>
- Vásquez-Álvarez, P. E., Flores-Vázquez, C., Cobos-Torres, J. C., & Cobos-Mora, S. L. (2022). Urban Heat Island Mitigation through Planned Simulation. *Sustainability (Switzerland)*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/su14148612>
- Widjaja, W., Suprihartini, Y., Dirgantoro, G. P., & W, W. (2024). Application of ROC Criteria Prioritization Technique in Employee Performance Appraisal Evaluation. *Jurnal Galaksi*, 1(1), 62–69. <https://doi.org/10.70103/galaksi.v1i1.7>
- Wie, J., Hong, S. O., Byon, J. Y., Ha, J. C., & Moon, B. K. (2020). Sensitivity analysis of surface energy budget to albedo parameters in seoul metropolitan area using the unified model. *Atmosphere*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/ATMOS11010120>
- Yazan, D. M., van Capelleveen, G., & Fraccascia, L. (2022). *Decision-Support Tools for Smart Transition to Circular Economy* (pp. 151–169). <https://doi.org/10.1108/S1877-636120220000028010>
- Zhang, K., Zhan, J., & Yao, Y. (2019). TOPSIS method based on a fuzzy covering approximation space: An application to biological nano-materials selection. *Information Sciences*, 502, 297–329. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.06.043>
- Zhao, Y., Sen, S., Susca, T., Iaria, J., Kubilay, A., Gunawardena, K., Zhou, X., Takane, Y., Park, Y., Wang, X., Rubin, A., Fan, Y., Yuan, C., Bardhan, R., Derome, D., Ürge-Vorsatz, D., & Carmeliet, J. (2023). Beating urban heat: Multimeasure-centric solution sets and a complementary framework for decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 186(September), 113668. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113668>
- Zulqarnain, R. M., Dai, H. L., Ma, W. X., Siddique, I., Askar, S., & Naveed, H. (2024). Supplier selection in green supply chain management using correlation-based TOPSIS in a q-rung orthopair fuzzy soft environment. *Heliyon*, 10(11), e32145. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32145>

# LAMPIRAN

## Lampiran 1: Implementasi TOPSIS

### *Pseudocode* Pembagi TOPSIS

```
DEKLARASI
    id_kriteria      : INTEGER
    penyebut_planned : FLOAT
    penyebut_unplanned : FLOAT

DESKRIPSI
Untuk setiap id_kriteria, hitung nilai penyebut_planned dan
penyebut_unplanned sebagai akar kuadrat dari jumlah kuadrat nilai
value berdasarkan kategori (planned atau unplanned).

PSEUDOCODE
READ (id_kriteria, kategori, nilai)
FOR EACH id_kriteria:
    penyebut_planned <-
        SQRT(SUM(POWER(nilai, 2)) WHERE kategori = planned)
    penyebut_unplanned <-
        SQRT(SUM(POWER(nilai, 2)) WHERE kategori = unplanned)

WRITE (id_kriteria, penyebut_planned, penyebut_unplanned)
```

### *Pseudocode* Normalisasi Data

```
DEKLARASI
    nama_kawasan      : VARCHAR
    kategori           : VARCHAR
    nama_kriteria      : VARCHAR
    nilai_awal         : FLOAT
    normalisasi_planned : FLOAT
    normalisasi_unplanned : FLOAT

DESKRIPSI
Untuk setiap data kawasan dan kriteria, hitung nilai normalisasi
berdasarkan kategori (planned atau unplanned) menggunakan pembagi
dari tabel tpembagi.

PSEUDOCODE
READ (nama_kawasan, kategori, nama_kriteria, nilai_awal)
FOR EACH data:
    IF kategori = planned THEN
        normalisasi_planned <- ROUND(nilai_awal / penyebut_planned, 4)
    ELSE IF kategori = unplanned THEN
        normalisasi_unplanned <- ROUND(nilai_awal / penyebut_unplanned, 4)

WRITE (nama_kawasan, kategori, nama_kriteria, nilai_awal,
normalisasi_planned, normalisasi_unplanned)
ORDER BY kategori, id_kawasan, id_kriteria
```

#### *Pseudocode* Normalisasi Terbobot

##### DEKLARASI

```
id_kriteria          : INTEGER
penyebut_planned     : FLOAT
penyebut_unplanned   : FLOAT
normalisasi_planned  : FLOAT
normalisasi_unplanned : FLOAT
terbobot_planned     : FLOAT
terbobot_unplanned   : FLOAT
```

##### DESKRIPSI

Buat tabel sementara Penyebut yang menghitung penyebut untuk normalisasi berdasarkan kategori planned dan unplanned menggunakan akar kuadrat dari jumlah kuadrat value untuk setiap kriteria.

##### PSEUDOCODE

```
WITH Penyebut AS
  READ (id_kriteria, kategori, nilai_awal)
  FOR EACH id_kriteria:
    penyebut_planned <-
      SQRT(SUM(POWER(nilai_awal, 2)) WHERE kategori = planned)
    penyebut_unplanned <-
      SQRT(SUM(POWER(nilai_awal, 2)) WHERE kategori =
unplanned)
  END
  SELECT data akhir:
    FOR EACH data
      normalisasi_planned <-
        ROUND(nilai_awal/penyebut_planned,4)
      normalisasi_unplanned <-
        ROUND(nilai_awal / penyebut_unplanned, 4)

      terbobot_planned <-
        ROUND(normalisasi_planned * bobot, 4)
      terbobot_unplanned <-
        ROUND(normalisasi_unplanned * bobot_up, 4)

  WRITE(id_kawasan,nama_kawasan,kategori,nama_kriteria,
nilai_awal,normalisasi_planned,normalisasi_unplanned,
terbobot_planned, terbobot_unplanned)

ORDER BY kategori, id_kawasan, id_kriteria
```

### *Pseudocode Solusi Ideal*

#### DEKLARASI:

```
id_kawasan          : INTEGER
nama_kawasan        : VARCHAR
id_kriteria         : INTEGER
nama_kriteria       : VARCHAR
bobot               : FLOAT
keterangan          : VARCHAR
terbobot_planned    : FLOAT
terbobot_unplanned  : FLOAT
ideal_positif_planned : FLOAT
ideal_negatif_planned : FLOAT
ideal_positif_unplanned : FLOAT
ideal_negatif_unplanned : FLOAT
```

#### DESKRIPSI:

Langkah 1: Baca data dari tabel tnormalisasibobot dan kriteria, gabungkan berdasarkan nama\_kriteria.

Langkah 2: Untuk setiap id\_kriteria, lakukan perhitungan ideal positif dan negatif untuk kategori "planned" dan "unplanned" berdasarkan jenis kriteria:

a. Jika keterangan adalah "benefit":

- IdealPositifPlanned : nilai maksimum terbobot\_planned untuk setiap id\_kriteria
- IdealNegatifPlanned : nilai minimum terbobot\_planned untuk setiap id\_kriteria
- IdealPositifUnplanned : nilai maksimum terbobot\_unplanned untuk setiap id\_kriteria
- IdealNegatifUnplanned : nilai minimum terbobot\_unplanned untuk setiap id\_kriteria

b. Jika keterangan adalah "cost":

- IdealPositifPlanned : nilai minimum terbobot\_planned untuk setiap id\_kriteria
- IdealNegatifPlanned : nilai maksimum terbobot\_planned untuk setiap id\_kriteria
- IdealPositifUnplanned : nilai minimum terbobot\_unplanned untuk setiap id\_kriteria
- IdealNegatifUnplanned : nilai maksimum terbobot\_unplanned untuk setiap id\_kriteria

Langkah 3: Tulis hasil untuk setiap id\_kawasan, nama\_kawasan, id\_kriteria, nama\_kriteria, bobot, keterangan, ideal\_positif\_planned, ideal\_negatif\_planned, ideal\_positif\_unplanned, dan ideal\_negatif\_unplanned.

#### ALGORITMA:

```
READ(tnormalisasibobot,kriteria) INTO (id_kawasan, nama_kawasan,
id_kriteria, nama_kriteria, bobot, keterangan, terbobot_planned,
terbobot_unplanned)
```

```
FOR EACH id_kriteria DO
  IF keterangan = benefit THEN
    ideal_positif_planned <-
```

```

        MAX(terbobot_planned WHERE kategori = planned)
ideal_negatif_planned <-
        MIN(terbobot_planned WHERE kategori = planned)
ideal_positif_unplanned <-
        MAX(terbobot_unplanned WHERE kategori = unplanned)
ideal_negatif_unplanned <-
        MIN(terbobot_unplanned WHERE kategori = unplanned)

ELSE IF keterangan = cost THEN
    ideal_positif_planned <-
        MIN(terbobot_planned WHERE kategori = planned)
    ideal_negatif_planned <-
        MAX(terbobot_planned WHERE kategori = planned)
    ideal_positif_unplanned <-
        MIN(terbobot_unplanned WHERE kategori = unplanned)
    ideal_negatif_unplanned <-
        MAX(terbobot_unplanned WHERE kategori = unplanned)
END IF
END FOR

WRITE (id_kawasan, nama_kawasan, id_kriteria, nama_kriteria,
bobot, keterangan, ideal_positif_planned, ideal_negatif_planned,
ideal_positif_unplanned, ideal_negatif_unplanned)

WRITE (id_kawasan, nama_kawasan, kategori, nama_kriteria,
nilai_awal, normalisasi_planned, normalisasi_unplanned,
terbobot_planned, terbobot_unplanned)

ORDER BY kategori, id_kawasan, id_kriteria

```

***Pseudocode Jarak Solusi Ideal***

```

DEKLARASI:
    id_kriteria           : INTEGER
    nama_kriteria         : VARCHAR
    ideal_positif_planned  : FLOAT
    ideal_positif_cost_planned : FLOAT
    ideal_positif_unplanned : FLOAT
    ideal_positif_cost_unplanned : FLOAT
    ideal_negatif_planned  : FLOAT
    ideal_negatif_cost_planned : FLOAT
    ideal_negatif_unplanned : FLOAT

```

```

ideal_negatif_cost_unplanned : FLOAT
id_kawasan                   : INTEGER
nama_kawasan                 : VARCHAR
kategori                     : VARCHAR
jarak_positif_planned        : FLOAT
jarak_negatif_planned        : FLOAT
jarak_positif_unplanned      : FLOAT
jarak_negatif_unplanned      : FLOAT

```

#### DESKRIPSI:

Langkah 1: Buat tabel sementara SolusiIdeal untuk menghitung nilai ideal positif dan negatif dari masing-masing kriteria berdasarkan kategori dan jenis kriteria (benefit/cost).

- Jika kriteria adalah "benefit":

```

-> IdealPositifPlanned    : nilai maksimum terbobot_planned
-> IdealNegatifPlanned    : nilai minimum terbobot_planned
-> IdealPositifUnplanned   : nilai maksimum terbobot_unplanned
-> IdealNegatifUnplanned  : nilai minimum terbobot_unplanned

```

- Jika kriteria adalah "cost":

```

-> IdealPositifCostPlanned : nilai minimum terbobot_planned
-> IdealNegatifCostPlanned : nilai maksimum terbobot_planned
-> IdealPositifCostUnplanned : nilai minimum terbobot_unplanned
-> IdealNegatifCostUnplanned : nilai maksimum terbobot_unplanned

```

Langkah 2: Untuk setiap id\_kawasan dan kategori (planned/unplanned), hitung jarak antara nilai terbobot dan solusi ideal:

- Untuk kategori "planned":

```

-> Jarak positif dihitung sebagai akar kuadrat dari jumlah
kuadrat selisih nilai terbobot_planned dan ideal positif.
-> Jarak negatif dihitung sebagai akar kuadrat dari jumlah
kuadrat selisih nilai terbobot_planned dan ideal negatif.

```

- Untuk kategori "unplanned":

```

-> Jarak positif dihitung sebagai akar kuadrat dari jumlah
kuadrat selisih nilai terbobot_unplanned dan ideal positif.
-> Jarak negatif dihitung sebagai akar kuadrat dari jumlah
kuadrat selisih nilai terbobot_unplanned dan ideal negatif.

```

#### ALGORITMA:

```

WITH SolusiIdeal AS (
  -- Menghitung nilai ideal untuk setiap kriteria
  FOR EACH kriteria DO
    IF keterangan = benefit THEN
      ideal_positif_planned <- MAX(terbobot_planned)
      ideal_negatif_planned <- MIN(terbobot_planned)
      ideal_positif_unplanned <- MAX(terbobot_unplanned)
      ideal_negatif_unplanned <- MIN(terbobot_unplanned)
    ELSE IF keterangan = cost THEN
      ideal_positif_cost_planned <- MIN(terbobot_planned)
      ideal_negatif_cost_planned <- MAX(terbobot_planned)
      ideal_positif_cost_unplanned <- MIN(terbobot_unplanned)
      ideal_negatif_cost_unplanned <- MAX(terbobot_unplanned)
    END IF
  END FOR
)

```

```

END IF
    END FOR
)

-- Menghitung jarak antara setiap alternatif dengan solusi ideal
FOR EACH id_kawasan, nama_kawasan, kategori DO
    IF kategori = planned THEN jarak_positif_planned <-
        SQRT(SUM((terbobot_planned
-IF(ideal_positif_planned IS NOT NULL, ideal_positif_planned,
ideal_positif_cost_planned))^2))
        jarak_negatif_planned <- SQRT(SUM((terbobot_planned
-IF(ideal_negatif_planned IS NOT NULL, ideal_negatif_planned,
ideal_negatif_cost_planned))^2))

        ELSE IF kategori = unplanned THEN
            jarak_positif_unplanned <- SQRT(SUM((terbobot_unplanned
- IF(ideal_positif_unplanned IS NOT NULL,
ideal_positif_unplanned, ideal_positif_cost_unplanned))^2))
            jarak_negatif_unplanned <- SQRT(SUM((terbobot_unplanned
- IF(ideal_negatif_unplanned IS NOT NULL,
ideal_negatif_unplanned, ideal_negatif_cost_unplanned))^2))
        END IF
    END FOR

-- Menampilkan hasil untuk setiap kawasan
DISPLAY (id_kawasan, nama_kawasan, kategori,
jarak_positif_planned, jarak_negatif_planned,
jarak_positif_unplanned, jarak_negatif_unplanned)

```

#### ***Pseudocode Nilai Preferensi***

```

DEKLARASI:
    id_kawasan           : INTEGER
    nama_kawasan         : VARCHAR
    kategori             : VARCHAR
    jarak_positif_planned : FLOAT
    jarak_negatif_planned : FLOAT
    jarak_positif_unplanned : FLOAT
    jarak_negatif_unplanned : FLOAT
    preferensi_planned    : FLOAT
    preferensi_unplanned  : FLOAT

DESKRIPSI:
Langkah 1: Untuk setiap id_kawasan dalam tabel alternatif,
hitung nilai preferensi berdasarkan kategori:
- Jika kategori adalah "planned":
-> preferensi_planned dihitung sebagai:
    JarakNegatifPlanned/(JarakPositifPlanned+jarak_negatif_planned)
-> Hasil pembulatan hingga tiga angka di belakang koma.

```

```
- Jika kategori adalah "unplanned":  
-> preferensi_unplanned dihitung sebagai:  
JarakNegatifUnplanned/(JarakPositifUnplanned+JarakNegatifUnplanned)  
-> Hasil pembulatan hingga tiga angka di belakang koma.
```

Langkah 2: Mengurutkan hasil berdasarkan kategori dan id\_kawasan.

ALGORITMA:

```
FOR EACH alternatif a JOIN tjaraksolusi ts ON a.id_kawasan =  
ts.id_kawasan DO  
    IF a.kategori = planned THEN  
        preferensi_planned <- ROUND(ts.jarak_negatif_planned /  
(ts.jarak_positif_planned + ts.jarak_negatif_planned), 3)  
        preferensi_unplanned <- NULL  
    ELSE IF a.kategori = unplanned THEN  
        preferensi_unplanned <- ROUND(ts.jarak_negatif_unplanned /  
(ts.jarak_positif_unplanned + ts.jarak_negatif_unplanned), 3)  
        preferensi_planned <- NULL  
    END IF  
END FOR  
  
-- Menampilkan hasil akhir dalam urutan kategori dan id_kawasan  
DISPLAY (id_kawasan, nama_kawasan, preferensi_planned,  
preferensi_unplanned)
```

## Lampiran 2 : Surat Penelitian



**KEMENTERIAN AGAMA**  
**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG**  
**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**  
Jalan Gajayana 50 Malang 65144 Telepon/Faksimile (0341) 558933  
Website: <http://saintek.uin-malang.ac.id>, email: [saintek@uin-malang.ac.id](mailto:saintek@uin-malang.ac.id)

Nomor : B-72.O/FST.01/TL.00/10/2024  
Lampiran : -  
Hal : Permohonan Data

Yth. Pimpinan Pemerintah Kota Malang  
Jl. Tugu No.1, Kel. Kiduldalem, Kec. Klojen, Kota Malang, 65119

Dengan hormat,

Sehubungan dengan penelitian mahasiswa Jurusan Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang atas nama:

Nama : NENDEN NURAENI  
NIM : 210605110149  
Judul : DECISSION SUPPORT SYSTEM MITIGASI  
PENANGGUNALANGAN FENOMENA URBAN HEAT ISLAND  
(UHI) MENGGUNAKAN METODE TOPSIS FUZZY  
Dosen Pembimbing : Dr. YUNIFA MIFTACHUL ARIF, M.T.

Maka kami mohon Bapak/Ibu berkenan memberikan izin pada mahasiswa tersebut untuk melakukan penelitian dan mendapatkan data Data falidasi apakah solusi mitigasi yang di usulkan itu sesuai di Pemerintah Kota Malang dengan waktu pelaksanaan pada tanggal 30 Oktober 2024.

Demikian permohonan ini, atas perhatian dan kerjasamanya disampaikan terimakasih.

Malang, 12 Maret 2025

Scan QRCode ini



untuk verifikasi surat



Wakil Dekan Bidang Akademik,

Dr. Anton Prasetyo, M.Si  
NIP. 19770925 200604 1 003

No. : 8182

BAGIAN UMUM SETDA KOTA MALANG  
SUBBAG TATA USAHA  
TILP. 0341-366065

TANDA TERIMA SURAT

Asal Surat : UIN Malik Ibrahim  
Malang  
Tanggal Surat : 23/10/2024  
Nomor Surat : B-72.01/FST.01/TL.00/10/24  
Lampiran :  
Perihal : Permohonan Data  
Tgl. Diterima : 23/10/2024  
Pengelola : BAPPETA  
No. Surat Turun : 000.7 / 8887  
Tgl. Diteruskan : 24/10/2024

Penerima,

  
Fahmy

### Lampiran 3 : Dokumentasi Penelitian Pengambilan Data SUS

