

**PEMILIHAN STRATEGI MITIGASI TERBAIK UNTUK MENGATASI
URBAN HEAT ISLAND DI KOTA SURABAYA MENGGUNAKAN
METODE FERMATEAN FUZZY SWARA-TOPSIS**

Ismatu Laila Syifa'

Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: ismatulaila.21008@mhs.unesa.ac.id

Dwi Nur Yunianti

Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: dwinuryunianti@unesa.ac.id*

Abstrak

Fenomena *Urban Heat Island* (UHI) merupakan permasalahan lingkungan yang muncul akibat dominasi Pembangunan dan berkurangnya ruang hijau di kawasan perkotaan. Kondisi ini menyebabkan peningkatan suhu udara, menurunnya kualitas lingkungan, serta mempengaruhi kenyamanan dan kesehatan masyarakat. Oleh karena itu, diperlukan strategi mitigasi yang tepat untuk meminimalisasi dampak UHI, khususnya di kota besar seperti Surabaya. Penelitian ini menggunakan metode fermatean fuzzy SWARA-TOPSIS untuk mengevaluasi dan menentukan strategi mitigasi UHI yang paling efektif berdasarkan lima aspek utama, yaitu lingkungan, ekonomi, sosial, teknis, dan kebijakan. Hasil analisis menunjukkan bahwa aspek lingkungan memiliki bobot kepentingan tertinggi sebesar 0.2426, diikuti aspek teknis sebesar 0.2003 dan kebijakan sebesar 0.1927, sedangkan aspek ekonomi menempati bobot terendah sebesar 0.1773. Pada subkriteria, dukungan pemerintah menjadi faktor paling dominan, sementara sumber pendanaan dan kontrol ekonomi menempati bobot terendah. Alternatif strategi mitigasi yang terbaik adalah penghijauan melalui ruang terbuka hijau dengan nilai sebesar 0.7607, diikuti dengan adanya *green building* dengan nilai sebesar 0.6593 lalu ruang terbuka biru dengan nilai sebesar 0.6029 dan pengurangan emisi kendaraan dengan nilai sebesar 0.5752, sedangkan regulasi pembangunan gedung baru berada pada posisi terakhir dengan nilai sebesar 0.4306. Hasil tersebut menyatakan bahwa upaya mitigasi UHI perlu diprioritaskan pada strategi berbasis lingkungan yang didukung oleh regulasi serta kebijakan pemerintah, sehingga dapat mewujudkan tata kota yang lebih indah dan ramah lingkungan.

Kata Kunci: fermatean fuzzy SWARA-TOPSIS, *Urban Heat Island*, mitigasi perkotaan, kepentingan kriteria, pengurutan alternatif

Abstract

The *Urban Heat Island* (UHI) phenomenon is an environmental issue that arises from the dominance of urban development and the reduction of green spaces in metropolitan areas. These conditions lead to increased air temperatures, declining environmental quality, and negative impacts on community comfort and public health. Therefore, appropriate mitigation strategies are required to minimize the effects of UHI, particularly in major cities such as Surabaya. This study employs the fermatean fuzzy SWARA-TOPSIS method to evaluate and determine the most effective UHI mitigation strategies based on five main aspects, namely environmental, economic, social, technical, and policy. The analysis results indicate that the environmental aspect has the highest importance weight of 0.2426, followed by the technical aspect with 0.2003 and the policy aspect with 0.1927, while the economic aspect ranks lowest with 0.1773. At the sub-criteria level, government support is identified as the most dominant factor, whereas funding sources and economic control have the lowest weights. The best mitigation alternative is greening through green open spaces with a priority value of 0.7607, followed by green building initiatives with 0.6593, blue open spaces with 0.6029, and vehicle emission reduction with 0.5752, while regulations for new building development rank last with 0.4306. These results indicate that UHI mitigation efforts should prioritize environmental-based strategies supported by government regulations and policies, in order to create a more attractive and environmentally friendly urban design.

Keywords: fermatean fuzzy SWARA-TOPSIS, *Urban Heat Island*, urban mitigation, criteria importance, alternative ranking.

PENDAHULUAN

Pulau Panas Perkotaan atau *Urban Heat Island* (UHI) adalah fenomena meningkatnya suhu udara di daerah perkotaan dibanding daerah sekitarnya (Putri Darlina dkk., 2018). Fenomena ini ditandai dengan suhu yang lebih tinggi di kawasan perkotaan dibandingkan daerah sekitarnya, terutama di pusat kota. Peningkatan suhu udara ini dapat mencapai 2-5°C, yang berdampak pada kenaikan konsumsi energi terutama untuk penggunaan pendingin udara (AC) dan kipas angin. Hal ini tidak hanya meningkatkan penggunaan listrik, tetapi juga memperparah emisi gas rumah kaca. Selain itu, UHI dapat membahayakan kesehatan terutama bagi kelompok rentan seperti lansia dan anak-anak yang berisiko mengalami dehidrasi dan gangguan pernapasan seperti asma (National Geographic, 2024). UHI juga mempengaruhi pola curah hujan dan cuaca lokal yang disebabkan oleh ketidakstabilan suhu udara (Shepherd, 2005). Kota-kota metropolitan di dunia, seperti New York, London, dan Paris, rentan terdampak fenomena Urban Heat Island (UHI), akibat tingginya aktivitas manusia dan polusi udara (National Geographic, 2024). Hal serupa juga terjadi di beberapa kota metropolitan di Indonesia, seperti Jakarta, Surabaya, Bandung, Medan, Semarang, dan Yogyakarta (Rushayati & Hermawan, 2013). Surabaya menjadi salah satu kota dengan peningkatan suhu yang cukup signifikan dalam beberapa tahun terakhir, suhu rata-rata kota Surabaya adalah berkisar 29-30°C. Pada lima tahun terakhir yakni dari tahun 2019-2023 suhu tertinggi yang pernah tercatat di kota Surabaya adalah mencapai 37,9°C yang terjadi pada bulan Oktober tahun 2021 (Badan Pusat Statistika Kota Surabaya, 2022).

Fenomena *Urban Heat Island* di Surabaya ditandai dengan adanya perbedaan suhu sekitar 1,4°C antara daerah perkotaan dan daerah pinggiran. Meskipun tidak terlalu signifikan, perbedaan ini tetap berdampak terhadap peningkatan penggunaan energi terutama dalam penggunaan pendingin ruangan (AC) dan kipas angin. Berdasarkan dari hasil model analisis lingkungan menggunakan DPSIR (*driving-force-pressure-state-impact-response*) yang biasanya digunakan untuk memahami hubungan sebab-akibat dalam suatu sistem, urbanisasi menjadi faktor pendorong utama di

Surabaya karena perannya sebagai kota komersial, jasa, dan industri yang menarik pendatang serta meningkatkan populasi. Urbanisasi ini memberikan tekanan terhadap ketersediaan ruang hijau dan penggunaan energi yang menyebabkan meningkatnya polusi udara serta emisi gas rumah kaca (Kurniati & Nitivattananon, 2016). Oleh karena itu, pemerintah kota Surabaya telah menerapkan berbagai langkah mitigasi, baik secara langsung maupun tidak langsung, seperti pembangunan ruang terbuka hijau, peningkatan ruang terbuka biru, pengelolaan zonasi dan peraturan bangunan, penerapan *green building*, serta pengurangan emisi CO_2 pada sektor transportasi (Noviyanti dkk., 2014).

Strategi mitigasi UHI yang telah diterapkan di Kota Surabaya merupakan hasil kerja dari Pemerintah Kota Surabaya, yang pelaksanaannya dilakukan oleh pihak dinas-dinas terkait. Selain itu, adanya komunitas lingkungan yang aktif di sekitar kota Surabaya turut berkontribusi dalam pelaksanaan berbagai program mitigasi, seperti penghijauan kota, edukasi lingkungan, serta advokasi kebijakan ranah lingkungan. Partisipasi komunitas lingkungan ini berperan dalam mengawasi implementasi kebijakan serta mendorong keterlibatan masyarakat untuk terlibat dalam melaksanakan upaya mitigasi. Kolaborasi antara pemerintah dan komunitas lingkungan diharapkan dapat mempercepat target pengurangan dampak UHI, sekaligus meningkatkan kesadaran publik akan pentingnya menjaga keseimbangan ekosistem perkotaan. Keberhasilan strategi mitigasi ini bergantung pada efektivitas koordinasi antara pemerintah dan komunitas, serta pemilihan strategi mitigasi terbaik yang sesuai dengan kondisi kota Surabaya. Pemilihan strategi mitigasi terbaik harus mempertimbangkan berbagai kriteria, seperti aspek lingkungan, ekonomi, sosial, teknis, dan kebijakan. Untuk itu, diperlukan metode analisis yang tepat guna menentukan strategi mitigasi terbaik secara efektif.

Penelitian oleh Kurniati & Nitivattananon (2016) mengidentifikasi tiga faktor utama yang memicu *Urban Heat Island* (UHI) di Surabaya, yaitu minimnya ruang hijau, tingginya konsumsi listrik, dan penggunaan material jalan yang menyerap panas. Sebagai solusi strategi mitigasi, penelitian ini merekomendasikan penghijauan untuk memperluas lahan hijau, pengoptimalan efisiensi energi guna

menekan konsumsi listrik, serta penggunaan material beralbedo tinggi untuk mengurangi serapan panas. Sementara itu, penelitian oleh Noviyanti dkk. (2014) menemukan bahwa struktur dan fungsi kota, seperti geometri bangunan, polusi, serta konsumsi energi, turut berkontribusi terhadap UHI di kawasan Tunjungan, Surabaya. Pada penelitian ini menyarankan peningkatan ruang hijau yang dapat menurunkan suhu hingga 1.76°C , pengelolaan daerah aliran sungai untuk mengurangi suhu lokal, serta penerapan regulasi tata ruang yang lebih ketat guna mengoptimalkan desain bangunan, termasuk peningkatan *Sky View Factor* (SVF) untuk sirkulasi udara. Selain itu, pengurangan emisi karbon dari sektor permukiman, transportasi, dan perdagangan juga diusulkan sebagai langkah strategis dalam menciptakan lingkungan perkotaan yang lebih berkelanjutan.

Belum adanya penelitian yang secara spesifik mencari strategi mitigasi terbaik untuk mengatasi *Urban Heat Island* (UHI) di Surabaya menunjukkan perlunya pendekatan yang mampu mengevaluasi berbagai alternatif secara sistematis. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah Sistem Pendukung Keputusan (SPK). SPK adalah sistem yang membantu pengambil keputusan dalam proses penyelesaian masalah dengan menyediakan data, model, dan algoritma yang sesuai dengan kebutuhan pengambil keputusan. SPK dapat membantu pengambil keputusan dalam menyelesaikan masalah yang kompleks dan tidak terstruktur secara logis (Power, 2002). Pada konteks pemilihan strategi mitigasi UHI, pendekatan SPK yang digunakan adalah metode *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) karena mampu mempertimbangkan berbagai kriteria dan alternatif secara komprehensif. Pendekatan fuzzy yang diperkenalkan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965 banyak digunakan dalam MCDM untuk menangani ketidakpastian penilaian subjektif. Beberapa penelitian sebelumnya, seperti oleh Ulutaş dkk. (2020) dan Banhashemi dkk. (2021), menunjukkan bahwa metode fuzzy SWARA dan fuzzy TOPSIS efektif dalam pemilihan lokasi logistik serta penjadwalan proyek konstruksi karena menghasilkan pembobotan dan peringkat alternatif yang lebih akurat.

Konsep logika fuzzy kemudian dikembangkan menjadi himpunan fermatean fuzzy oleh Senapati & Yager (2020a) yang memberikan fleksibilitas lebih

besar dalam merepresentasikan ketidakpastian. Dalam konteks MCDM, metode ini terbukti lebih adaptif terhadap masalah yang kompleks. Penelitian oleh Ayyildiz (2022) menerapkan metode fermatean fuzzy SWARA untuk memprioritaskan indikator SDG-7 dan menghasilkan prioritas yang akurat dalam konteks keberlanjutan energi. Sementara itu, penelitian oleh Ayyildiz & Erdogan (2024) menggunakan metode fermatean fuzzy SWARA-TOPSIS untuk pemilihan lokasi parkir kendaraan otonom di Turki, dan menunjukkan hasil yang efisien serta akurat dalam menentukan alternatif terbaik. Kedua penelitian tersebut memperkuat relevansi penggunaan metode fermatean fuzzy SWARA-TOPSIS dalam menentukan strategi mitigasi UHI di Surabaya.

Berdasarkan kondisi tersebut, fenomena *Urban Heat Island* (UHI) di kota Surabaya menunjukkan bahwa upaya mitigasi yang ada masih memerlukan evaluasi agar strategi yang diterapkan benar-benar efektif dalam menekan dampak negatifnya. Pendekatan analitis yang mampu menimbang beragam kriteria secara objektif diperlukan agar dapat menghasilkan pemeringkatan strategi mitigasi yang paling tepat. Pemanfaatan metode fermatean fuzzy SWARA-TOPSIS diharapkan dapat memberikan bobot yang lebih akurat terhadap setiap kriteria serta menyusun prioritas strategi mitigasi UHI yang relevan dengan kondisi kota Surabaya. Hasil penelitian ini diharapkan bisa digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan yang lebih terarah bagi pemerintah maupun pemangku kepentingan dalam menanggulangi persoalan UHI secara berkelanjutan.

KAJIAN PUSTAKA

FAKTOR *URBAN HEAT ISLAND*

Faktor-faktor yang diperhatikan dalam membuat strategi mitigasi *Urban Heat Island* (UHI) meliputi lingkungan, ekonomi, sosial, teknis, dan kebijakan. Penentuan faktor-faktor ini didasarkan pada penelitian sebelumnya yang telah disesuaikan dengan kondisi lokal Surabaya. Adanya faktor-faktor ini, setiap strategi yang sudah ada dapat dinilai secara lebih objektif dan mendukung kebijakan yang sesuai untuk menghadapi dampak perubahan iklim di kota.

STRATEGI MITIGASI URBAN HEAT ISLAND

1. Ruang Terbuka Hijau (RTH)

Ruang terbuka hijau menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 5/PRT/M/2008 adalah area memanjang/jalur dan/atau mengelompok, yang penggunaannya lebih bersifat terbuka, tempat tumbuh tanaman, baik yang tumbuh secara alamiah maupun yang sengaja ditanam.

2. Ruang Terbuka Biru (RTB)

Ruang terbuka biru adalah bagian dari lanskap kota berupa unsur perairan seperti sungai, danau, waduk, kolam, atau badan air lainnya yang dimanfaatkan sebagai ruang publik (Ramdhan & Adiyaksa, 2022).

3. Pengurangan Emisi Kendaraan

Emisi karbon dari kendaraan bermotor berkontribusi terhadap fenomena UHI, terutama melalui gas buangan yang menambah polusi udara dan memperkuat efek rumah kaca lokal. Oleh karena itu, pengurangan emisi dari sektor transportasi tetap penting dalam upaya menciptakan lingkungan kota yang lebih sejuk dan bersih (Kurniati & Nitivattananon, 2016).

4. Green Building

Green building adalah konsep bangunan yang efisien dan ramah lingkungan, yang dirancang untuk meminimalkan dampak terhadap lingkungan sejak perencanaan hingga operasional.

5. Regulasi Pembangunan Gedung

Pengaturan ketinggian serta posisi bangunan merupakan aspek penting dalam perencanaan kota karena memiliki dampak terhadap suhu lingkungan dan kenyamanan di area perkotaan. Bangunan yang dibuat terlalu tinggi dan berdekatan tanpa perencanaan yang memadai dapat menghambat aliran udara dan menyebabkan penumpukan panas diantara bangunan, sehingga memperburuk efek UHI (Balany dkk., 2020).

HIMPUNAN FUZZY

Misalkan X himpunan semesta tak kosong, maka himpunan fuzzy \tilde{A} pada X didefinisikan sebagai,

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) : x \in X\}$$

dengan

$\mu_{\tilde{A}}$: fungsi keanggotaan himpunan fuzzy \tilde{A} dimana $\mu_{\tilde{A}} : X \rightarrow [0,1]$.

$\mu_{\tilde{A}}(x)$: derajat keanggotaan x pada himpunan fuzzy \tilde{A} dengan $0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x) \leq 1$.

HIMPUNAN FUZZY INTUISIONISTIK

Himpunan fuzzy intuisionistik oleh Krassimir T. Atanassov (1986) adalah pengembangan dari himpunan fuzzy untuk menangani ketidakpastian, didefinisikan sebagai berikut.

$$A = \{(x, \mu_A(x), \nu_A(x)) : x \in X\}$$

dengan

μ_A : fungsi keanggotaan himpunan fuzzy A dimana $\mu_A : X \rightarrow [0,1]$.

$\mu_A(x)$: derajat keanggotaan x pada himpunan fuzzy A dengan $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$.

ν_A : fungsi takanggotaan himpunan fuzzy A dimana $\nu_A : X \rightarrow [0,1]$.

$\nu_A(x)$: derajat keanggotaan x pada himpunan fuzzy A dengan $0 \leq \nu_A(x) \leq 1$.

π_A : fungsi keragu-raguan himpunan fuzzy intuisionistik A dimana $\pi_A : X \rightarrow [0,1]$.

$\pi_A(x)$: derajat keragu-raguan himpunan fuzzy intuisionistik A dimana $\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x)$.

HIMPUNAN FERMATEAN FUZZY

Himpunan fermatean fuzzy dikembangkan oleh Senapati & Yager (2020b) karena ingin memperluas konsep himpunan fuzzy dari himpunan fuzzy intuisionistik dan himpunan fuzzy pythagorean yang sebelumnya sudah ada.

Misalkan diberikan himpunan tak kosong X . Himpunan fermatean fuzzy \tilde{F} pada X dinotasikan sebagai berikut.

$$\tilde{F} = \{(x, \mu_{\tilde{F}}(x), \nu_{\tilde{F}}(x)) : x \in X\}$$

dengan

$\mu_{\tilde{F}}$: fungsi keanggotaan himpunan fuzzy \tilde{F} dimana $\mu_{\tilde{F}} : X \rightarrow [0,1]$.

$\mu_{\tilde{F}}(x)$: derajat keanggotaan x pada himpunan fuzzy \tilde{F} dengan $0 \leq \mu_{\tilde{F}}(x) \leq 1$.

$\nu_{\tilde{F}}$: fungsi takanggotaan himpunan fuzzy \tilde{F} dimana $\nu_{\tilde{F}} : X \rightarrow [0,1]$.

$\nu_{\tilde{F}}(x)$: derajat keanggotaan x pada himpunan fuzzy \tilde{F} dengan $0 \leq \nu_{\tilde{F}}(x) \leq 1$.

$\pi_{\tilde{F}}$: fungsi keragu-raguan himpunan fermatean fuzzy \tilde{F} dimana $\pi_{\tilde{F}} : X \rightarrow [0,1]$.

$\pi_{\tilde{F}}(x)$: derajat keragu-raguan himpunan fermatean fuzzy \tilde{F} dimana $\pi_{\tilde{F}}(x) =$

$$\sqrt[3]{1 - (\mu_{\tilde{F}}(x))^3 - (\nu_{\tilde{F}}(x))^3}.$$

METODE FERMATEAN FUZZY SWARA-TOPSIS

Metode fermatean fuzzy SWARA-TOPSIS adalah sebuah pendekatan pengambilan keputusan MCDM yang menggabungkan logika fermatean fuzzy dengan metode SWARA dan juga metode TOPSIS. Penggabungan metode ini pertama kali dilakukan oleh Senapati & Yager (2020b) yang dilakukan untuk menyediakan kerangka pengambilan keputusan yang lebih akurat, fleksibel, dan andal dalam menghadapi situasi yang kompleks dan penuh ketidakpastian.

Pada bagian penjelasan metode ini, notasi fungsi keanggotaan yang semula dituliskan dalam bentuk $\mu(a)$, dengan $a \in X$ menyatakan suatu elemen pada himpunan semesta tak kosong, akan disederhanakan menjadi μ_a . Demikian pula, notasi fungsi ketidakanggotaan $\nu(a)$ disederhanakan menjadi ν_a , untuk mempermudah penulisan serta memperjelas alur perhitungan. Langkah-langkah pengerjaan fermatean fuzzy SWARA-TOPSIS sebagai berikut.

1. Menentukan bobot narasumber

Bobot masing-masing narasumber dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\psi_t = \frac{score^+(E_t)}{\sum_{t=1}^d score^+(E_t)} = \frac{1 + (\mu_t)^3 - (\nu_t)^3}{\sum_{t=1}^d 1 + (\mu_t)^3 - (\nu_t)^3} \quad (2.1)$$

di mana

$(t = 1, 2, \dots, d)$ dan d merupakan banyak narasumber,

ψ_t : bobot narasumber ke- t ,

$(E_t) = (\mu_t, \nu_t)$: bilangan fermatean fuzzy yang menyatakan penilaian tingkat kepentingan narasumber ke- t ,

μ_t : derajat keanggotaan narasumber ke- t ,

ν_t : derajat ketakanggotaan narasumber ke- t .

2. Menginstruksi matriks agregat antar kriteria dan mengonstruksi matriks agregat antar subkriteria.

a. Mengonstruksi matriks agregat antar kriteria

Misalkan $R_t = [r_{jt}]$ dengan R_t merupakan matriks keputusan kriteria untuk setiap narasumber dan $r_{jt} = (\mu_{jt}, \nu_{jt})$ merupakan entri matriks R_t , maka diperoleh matriks keputusan fermatean fuzzy terhadap narasumber ke- t adalah sebagai berikut.

$$R_t = \begin{bmatrix} r_{1t} \\ r_{2t} \\ \vdots \\ r_{nt} \end{bmatrix}$$

Berdasarkan matriks R_t dengan $t = 1, 2, \dots, d$, maka diperoleh matriks $R = [r_j]$ atau

$$R = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_n \end{bmatrix}$$

dengan

$$r_j = \left(\prod_{t=1}^d (\mu_{jt})^{\psi_t}, \sqrt[3]{1 - \prod_{t=1}^d (1 - (\nu_{jt})^3)^{\psi_t}} \right) \quad (2.2)$$

dimana

$j = 1, 2, \dots, n$ dan n : banyak kriteria,

$t = 1, 2, \dots, d$ dan d : banyak narasumber,

r_j : entri matriks R pada kriteria ke- j ,

ψ_j : bobot narasumber ke- j ,

μ_{jt} : derajat keanggotaan narasumber ke- t terkait penilaian kriteria ke- j .

ν_{jt} : derajat ketakanggotaan narasumber ke- t terkait penilaian kriteria ke- j .

b. Mengonstruksi matriks agregat abtar subkriteria.

Misalkan $R'_t = [r'_{jt}]$ dengan R'_t merupakan matriks keputusan subkriteria untuk setiap narasumber dan $r'_{jt} = (\mu'_{jt}, \nu'_{jt})$ merupakan entri matriks R'_t , maka diperoleh matriks keputusan fermatean fuzzy terhadap narasumber ke- t adalah sebagai berikut.

$$R'_t = \begin{bmatrix} r'_{1t} \\ r'_{2t} \\ \vdots \\ r'_{nt} \end{bmatrix}$$

Berdasarkan matriks R'_t dengan $t = 1, 2, \dots, d$, maka diperoleh matriks $R' = [r'_j]$ atau

$$R' = \begin{bmatrix} r'_1 \\ r'_2 \\ \vdots \\ r'_n \end{bmatrix}$$

dengan

$$r'_j = \left(\prod_{t=1}^d (\mu'_{jt})^{\psi_t}, \sqrt[3]{1 - \prod_{t=1}^d (1 - (\nu'_{jt})^3)^{\psi_t}} \right) \quad (2.3)$$

di mana

$j = 1, 2, \dots, n$ dan n : banyak subkriteria,

$t = 1, 2, \dots, d$ dan d : banyak narasumber,

r'_j : entri matriks R' pada subkriteria ke- j ,

ψ_j : bobot narasumber ke- t ,

μ'_{jt} : derajat keanggotaan narasumber ke- t terkait penilaian subkriteria ke- j .

v'_{jt} : derajat ketakanggotaan narasumber ke- t terkait penilaian subkriteria ke- j .

W_j : bobot akhir kriteria terurut ke- j ,

q_l : bobot relatif kriteria terurut ke- l .

3. Menghitung bobot akhir subkriteria

a. Menghitung bobot kriteria

Langkah 1. Menghitung dan mengurutkan $score^+$ untuk setiap kriteria menggunakan persamaan berikut.

$$s^+(K_j) = 1 + (\mu_j)^3 - (v_j)^3 \quad (2.4)$$

di mana

$j = 1, 2, \dots, n$ dan n : banyak kriteria,

$s^+(K_j)$: $score^+$ kriteria ke- j ,

μ_j : derajat keanggotaan kriteria ke- j ,

v_j : derajat ketakanggotaan kriteria ke- j .

Langkah 2. Menghitung nilai *comparative significance* (c_l) menggunakan persamaan berikut.

$$c_l = \begin{cases} 0, & l = 1 \\ s^+(l) - s^+(l-1), & l > 1 \end{cases} \quad (2.5)$$

di mana

$l = 1, 2, \dots, n$ dan n : banyak kriteria,

c_l : nilai *comparative significance* kriteria terurut ke- l ,

$s^+(l)$: nilai $score^+$ kriteria terurut ke- l .

Langkah 3. Menghitung nilai *comparative coefficients* (k_l) menggunakan persamaan berikut.

$$k_l = \begin{cases} 1, & l = 1 \\ c_l + 1, & l > 1 \end{cases} \quad (2.6)$$

di mana

$l = 1, 2, \dots, n$ dan n : banyak kriteria,

k_l : nilai *comparative coefficients* kriteria terurut ke- l ,

c_l : nilai *comparative significance* kriteria terurut ke- l .

Langkah 4. Menghitung bobot relatif (q_l) menggunakan persamaan berikut.

$$q_l = \begin{cases} 1, & l = 1 \\ \frac{q(1-l)}{k_l}, & l > 1 \end{cases} \quad (2.7)$$

di mana

$l = 1, 2, \dots, n$ dan n : banyak kriteria,

k_l : nilai *comparative coefficients* kriteria terurut ke- l ,

q_l : bobot relatif kriteria terurut ke- l .

Langkah 5. Menghitung bobot kriteria (W_j) menggunakan persamaan berikut.

$$W_j = \frac{q_l}{\sum_{j=1}^n q_l} \quad (2.8)$$

di mana

$j = 1, 2, \dots, n$ dan n : banyak kriteria,

b. Menghitung bobot subkriteria

Langkah 1. Menghitung dan mengurutkan $score^+$ untuk setiap subkriteria menggunakan persamaan berikut.

$$s'^+(S_j) = 1 + (\mu'_j)^3 - (v'_j)^3 \quad (2.9)$$

di mana

$j = 1, 2, \dots, n$ dan n : banyak subkriteria,

$s'^+(S_j)$: $score^+$ subkriteria ke- j ,

μ'_j : derajat keanggotaan subkriteria ke- j ,

v'_j : derajat ketakanggotaan subkriteria ke- j .

Langkah 2. Menghitung nilai *comparative significance* (c'_l) menggunakan persamaan berikut.

$$c'_l = \begin{cases} 0, & l = 1 \\ s'^+(l) - s'^+(l-1), & l > 1 \end{cases} \quad (2.10)$$

di mana

$l = 1, 2, \dots, n$ dan n : banyak subkriteria,

c'_l : nilai *comparative significance* subkriteria terurut ke- l ,

$s'^+(l)$: nilai $score^+$ subkriteria terurut ke- l .

Langkah 3. Menghitung nilai *comparative coefficients* (k'_l) menggunakan persamaan berikut.

$$k'_l = \begin{cases} 1, & l = 1 \\ c'_l + 1, & l > 1 \end{cases} \quad (2.11)$$

di mana

$l = 1, 2, \dots, n$ dan n : banyak subkriteria,

k'_l : nilai *comparative coefficients* subkriteria terurut ke- l ,

c'_l : nilai *comparative significance* subkriteria terurut ke- l .

Langkah 4. Menghitung bobot relatif (q'_l) menggunakan persamaan berikut.

$$q'_l = \begin{cases} 1, & l = 1 \\ \frac{q'(l-1)}{k'_l}, & l > 1 \end{cases} \quad (2.12)$$

di mana

$l = 1, 2, \dots, n$ dan n : banyak kriteria,

k'_l : nilai *comparative coefficients* kriteria terurut ke- l ,

q'_l : bobot relatif kriteria terurut ke- l .

Langkah 5. Menghitung bobot kriteria (W'_j) menggunakan persamaan berikut.

$$W'_j = \frac{q'_l}{\sum_{j=1}^n q'_l} \quad (2.13)$$

di mana

$j = 1, 2, \dots, n$ dan n : banyak subkriteria,
 W'_j : bobot akhir subkriteria terurut ke- j ,
 q'_l : bobot relatif subkriteria terurut ke- l .

c. Menghitung bobot akhir subkriteria

Bobot akhir subkriteria ini dihitung dengan mengkalikan hasil bobot subkriteria (W'_j) dengan hasil bobot kriteria (W_j) yang bersesuaian. Bobot akhir subkriteria dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$w_j = W'_j \times W_j \quad (2.14)$$

di mana

$j = 1, 2, \dots, n$ dan n : banyak subkriteria,
 w_j : bobot akhir subkriteria ke- j dengan kriteria yang bersesuaian,
 W_j : bobot kriteria ke- j ,
 W'_j : bobot subkriteria ke- j ,

4. Membuat matriks keputusan alternatif terhadap subkriteria.

Matriks keputusan dibuat dengan mengumpulkan pendapat dari narasumber mengenai setiap alternatif terhadap setiap subkriteria. Misalkan $Z_t = [z_{ijt}]_{m \times n}$ dengan Z_t merupakan matriks keputusan alternatif terhadap subkriteria untuk setiap narasumber dan $r_{ijt} = (\mu_{ijt}, \nu_{ijt}, \pi_{ijt})$ merupakan entri matriks Z_t , maka matriks keputusan fermatean fuzzy terhadap narasumber ke- t sebagai berikut.

$$Z_t = \begin{bmatrix} z_{11t} & z_{12t} & \dots & z_{1nt} \\ z_{21t} & z_{22t} & \dots & z_{2nt} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{m1t} & z_{m2t} & \dots & z_{mnt} \end{bmatrix}$$

di mana

$t = 1, 2, \dots, d$ dan d : banyak narasumber,
 $i = 1, 2, \dots, m$ dan m : banyak alternatif,
 $j = 1, 2, \dots, n$ dan n : banyak subkriteria,
 μ_{ijt} : derajat keanggotaan narasumber ke- t terkait penilaian alternatif ke- i dan subkriteria ke- j ,
 ν_{ijt} : derajat ketakanggotaan narasumber ke- t terkait penilaian alternatif ke- i dan subkriteria ke- j ,
 π_{ijt} : derajat keragu-raguan narasumber ke- t terkait penilaian alternatif ke- i dan subkriteria ke- j .

5. Mengonstruksi matriks agregat keputusan alternatif terhadap subkriteria.

Matriks agregat keputusan alternatif terhadap subkriteria dilambangkan dengan Z ,

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1n} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{m1} & z_{m2} & \dots & z_{mn} \end{bmatrix}$$

dengan

$$z_{ij} = \left(\sqrt[3]{1 - \prod_{t=1}^d (1 - (\mu_{ijt})^3)^{\psi_t}}, \prod_{t=1}^d (\nu_{ijt})^{\psi_t} \right) \quad (2.15)$$

di mana

$t = 1, 2, \dots, d$ dan d : banyak narasumber,
 $i = 1, 2, \dots, m$ dan m : banyak alternatif,
 $j = 1, 2, \dots, n$ dan n : banyak subkriteria,
 μ_{ijt} : derajat keanggotaan narasumber ke- t terkait penilaian alternatif ke- i dan subkriteria ke- j ,
 ν_{ijt} : derajat ketakanggotaan narasumber ke- t terkait penilaian alternatif ke- i dan subkriteria ke- j ,
 ψ_t : bobot narasumber ke- t .

6. Menentukan solusi ideal positif dan solusi ideal negatif

Solusi ideal positif dan solusi ideal negatif dalam fermatean fuzzy TOPSIS terlebih dahulu menghitung nilai *score*. Nilai *score* ini akan dikembalikan ke dalam bentuk $(\mu_{ij}, \nu_{ij}, \pi_{ij})$ yang terdapat pada matriks agregat alternatif terhadap subkriteria. Nilai *score* dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$s(z_{ij}) = (\mu_{ij})^3 - (\nu_{ij})^3 \quad (2.16)$$

Diberikan J_1 merupakan kriteria keuntungan (*benefit criteria*) dan J_2 merupakan kriteria biaya (*cost criteria*). I^+ adalah solusi ideal positif fermatean fuzzy dan I^- adalah solusi ideal negatif fermatean fuzzy yang dinyatakan sebagai berikut.

$$I^+ = (z_1^+, z_2^+, \dots, z_n^+) \quad (2.17)$$

$$I^- = (z_1^-, z_2^-, \dots, z_n^-) \quad (2.18)$$

di mana

$$z_j^+ = (\mu_j^+, \nu_j^+, \pi_j^+), j = 1, 2, \dots, n$$

$$z_j^- = (\mu_j^-, \nu_j^-, \pi_j^-), j = 1, 2, \dots, n$$

$$\mu_j^+ = \left(\left(\min_i (score(\mu_{ij})) \mid j \in J_1 \right), \left(\max_i (score(\nu_{ij})) \mid j \in J_2 \right) \right)$$

$$v_j^+ = \left(\left(\min_i (\text{score}(\mu_{ij})) | j \in J_1 \right), \left(\max_i (\text{score}(v_{ij})) | j \in J_2 \right) \right)$$

$$\mu_j^- = \left(\left(\max_i (\text{score}(\mu_{ij})) | j \in J_1 \right), \left(\min_i (\text{score}(v_{ij})) | j \in J_2 \right) \right)$$

$$v_j^- = \left(\left(\max_i (\text{score}(\mu_{ij})) | j \in J_1 \right), \left(\min_i (\text{score}(v_{ij})) | j \in J_2 \right) \right)$$

7. Perhitungan jarak antara alternatif dengan solusi ideal positif dan solusi ideal negatif

$$D_i^+ = \sum_{j=1}^n w_j^3 \sqrt{\frac{1}{2} \left[((\mu_{ij}^3 - (\mu_j^+)^3)^2 + (v_{ij}^3 - (v_j^+)^3)^2 + ((\pi_{ij}^3 - (\pi_j^+)^3)^2) \right]} \quad (2.19)$$

$$D_i^- = \sum_{j=1}^n w_j^3 \sqrt{\frac{1}{2} \left[((\mu_{ij}^3 - (\mu_j^-)^3)^2 + (v_{ij}^3 - (v_j^-)^3)^2 + ((\pi_{ij}^3 - (\pi_j^-)^3)^2) \right]} \quad (2.20)$$

di mana

$(i = 1, 2, \dots, m)$ dan m merupakan banyak alternatif,

$(j = 1, 2, \dots, n)$ dan n merupakan banyak subkriteria,

w_j : bobot agregasi subkriteria ke- j dengan kriteria yang bersesuaian,

D_i^+ : jarak euclidean dari solusi ideal positif fermatean fuzzy alternatif ke- i ,

D_i^- : jarak euclidean dari solusi ideal negatif fermatean fuzzy alternatif ke- i .

8. Menghitung nilai preferensi

$$\phi_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+} \quad (2.21)$$

di mana

$i = 1, 2, \dots, m$ dan m merupakan banyak alternatif, ϕ_i : nilai preferensi alternatif ke- i dengan $(0 \leq \phi_i \leq 1)$.

9. Memberi peringkat pada alternatif

Alternatif-alternatif diberi peringkat dari yang tertinggi hingga terendah berdasarkan nilai preferensi. Alternatif dengan nilai preferensi tertinggi dijadikan sebagai alternatif terbaik.

METODE PENELITIAN

JENIS DAN SUMBER DATA PENELITIAN

Jenis penelitian yang akan digunakan adalah kuantitatif. Data yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu data primer. Data primer didapatkan melalui pengisian kuesioner oleh narasumber. Kemudian data akan diolah

menggunakan metode fermatean fuzzy SWARA-TOPSIS.

SUBJEK PENELITIAN

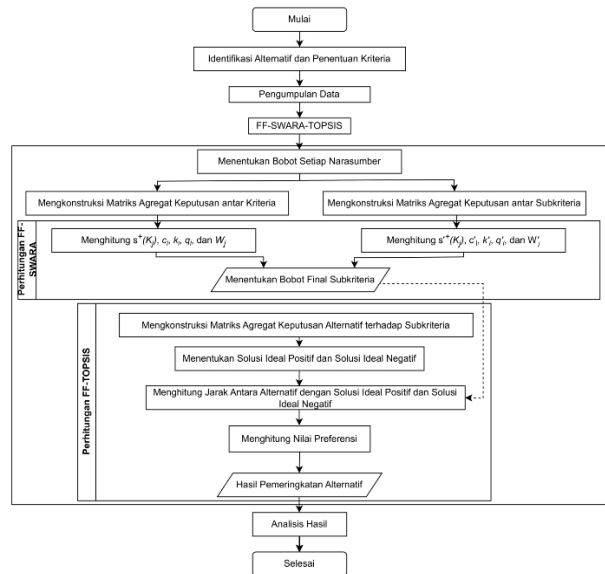
Subjek penelitian yang akan digunakan sebanyak minimal 10 narasumber. Narasumber tersebut berasal dari kalangan para ahli yang bekerja di instansi terkait di Pemerintah Daerah Kota Surabaya dan juga mencakup perwakilan dari komunitas lingkungan di Kota Surabaya.

TEKNIK PENGUMPULAN DATA

Teknik pengumpulan data yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan pengisian kuesioner. Alat pengumpulan data ini digunakan untuk menilai kriteria, subkriteria, dan alternatif yang digunakan. Peneliti akan membagikan kuesioner kepada narasumber. Selanjutnya, narasumber akan mengisi kuesioner tersebut sesuai dengan panduan pengisian yang telah tersedia.

TEKNIK PENGOLAHAN DATA

Teknik pengolahan data pada penelitian ini menggunakan metode fermatean fuzzy SWARA-TOPSIS. Proses pengolahan data akan dilakukan perhitungan dengan bantuan dari *Microsoft Excel*. Proses pengolahan data akan disajikan dalam diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 3.1: Diagram Alir Rancangan Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Menentukan alternatif dan kriteria

Pada Tabel 4.1 ditampilkan lima alternatif strategi mitigasi *Urban Heat Island* (UHI) yang saat ini telah

diterapkan di Kota Surabaya, di mana strategi-strategi tersebut dipilih menjadi fokus dalam penelitian ini agar dapat diketahui peran dan kontribusinya terhadap upaya penurunan dampak UHI.

Tabel 4.1: Daftar variabel dan strategi mitigasi UHI

Variabel	Strategi Mitigasi UHI
A1	Ruang Terbuka Hijau
A2	Ruang Terbuka Biru
A3	Pengurangan Emisi Kendaraan
A4	<i>Green Building</i>
A5	Regulasi Pembangunan Gedung

Pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 secara berturut-turut menyajikan kriteria utama dan subkriteria penelitian yang menjadi dasar pertimbangan dalam proses analisis terhadap alternatif strategi mitigasi UHI.

Tabel 4.2: Daftar variabel dan kriteria utama

Variabel	Kriteria Utama
K1	Lingkungan
K2	Ekonomi
K3	Sosial
K4	Teknis
K5	Kebijakan

Tabel 4.3: Daftar variabel dan subkriteria

Variabel	Subkriteria
S1	Efektivitas Penurunan Suhu
S2	Peningkatan Kualitas Udara
S3	Biaya Operasional/Pemeliharaan
S4	Kontribusi Ekonomi
S5	Sumber Pendanaan
S6	Peningkatan Kesehatan Masyarakat
S7	Kualitas Kenyamanan dan Estetika Kota
S8	Tingkat Partisipasi Masyarakat
S9	Ketersediaan Teknologi
S10	Integrasi Infrastruktur
S11	Potensi Pengembangan
S12	Kesesuaian Regulasi
S13	Dukungan Pemerintah

2. Aturan penilaian tingkat kepentingan kriteria dan aturan penilaian peringkat alternatif

Penilaian terhadap tingkat kepentingan setiap kriteria dalam penelitian ini digambarkan menggunakan istilah linguistik yang kemudian direpresentasikan ke dalam bentuk FFN (*Fermatean Fuzzy Number*), seperti pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4: Linguistik tingkat kepentingan kriteria

Linguistik	FFN
Sangat Tidak Penting	(0.1000, 0.9750, 0.4163)
Tidak Penting	(0.2000, 0.8500, 0.7230)
Sedikit Penting	(0.3500, 0.7000, 0.8500)
Cukup Penting	(0.5500, 0.5000, 0.8915)
Penting	(0.7000, 0.3500, 0.8500)
Sangat Penting	(0.8500, 0.2000, 0.7230)
Sangat Sangat Penting	(0.9750, 0.1000, 0.4163)

Sedangkan untuk penilaian peringkat alternatif digambarkan dengan menggunakan istilah linguistik dan FFN seperti pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5: Linguistik penilaian alternatif terhadap subkriteria

Linguistik	FFN
Sangat Sangat Tidak Efektif/Sangat Sangat Tidak Berkontribusi/Sangat Sangat Besar/Sangat Sangat Tidak Sebanding/Sangat Sangat Tidak Penting/Sangat Sangat Tidak Berpengaruh/Sangat Sangat Tidak Terlibat/Sangat Sangat Sulit/Sangat Sangat Tidak Sesuai/Sangat Sangat Tidak Mendukung	(0.1000, 0.9000, 0.6463)
Sangat Tidak Efektif/Sangat Tidak Berkontribusi/Sangat Besar/Sangat Tidak Sebanding/Sangat Tidak Penting/Sangat Tidak Berpengaruh/Sangat Tidak Terlibat/Sangat Sulit/Sangat Tidak Sesuai/Sangat Tidak Mendukung	(0.2000, 0.8000, 0.7830)
Tidak Efektif/Tidak Berkontribusi/Besar/Tidak Sebanding/Tidak Penting/Tidak Berpengaruh/Tidak Terlibat/Sulit/Tidak Sesuai/Tidak Mendukung	(0.3000, 0.7000, 0.8573)
Cukup Tidak Efektif/Cukup Tidak Berkontribusi/Cukup Besar/Cukup Tidak Sebanding/Cukup Tidak Penting/Cukup Tidak Berpengaruh/Cukup Tidak Terlibat/Cukup Sulit/Cukup Tidak Sesuai/Cukup Tidak Mendukung	(0.4000, 0.6000, 0.8963)
Moderate/Sedang	(0.5000, 0.4000, 0.9326)
Cukup Efektif/Cukup Berkontribusi/Cukup Besar/Cukup Sebanding/Cukup Penting/Cukup Berpengaruh/Cukup Terlibat/Cukup Sulit/Cukup Sesuai/Cukup Mendukung	(0.6000, 0.3000, 0.9114)
Efektif/Berkontribusi/Kecil/Sebanding/Penting/Berpengaruh/Terlibat/Mudah/Sesuai/Mendukung	(0.7000, 0.2000, 0.8658)
Sangat Efektif/Sangat Berkontribusi/Sangat Kecil/Sangat Sebanding/Sangat Penting/Sangat Berpengaruh/Sangat Terlibat/Sangat Mudah/Sangat Sesuai/Sangat Mendukung	(0.8000, 0.2000, 0.7830)
Sangat Sangat Efektif/Sangat Sangat Berkontribusi/Sangat Sangat Kecil/Sangat Sangat Sebanding/Sangat Sangat Penting/Sangat Sangat Berpengaruh/Sangat Sangat Terlibat/Sangat Sangat Mudah/Sangat Sangat Sesuai/Sangat Sangat Mendukung	(0.9000, 0.1000, 0.6463)

3. Menentukan bobot narasumber

Data primer dalam penelitian ini bersumber dari 11 narasumber yang berpengalaman dalam bidang lingkungan dan mitigasi bencana di Kota Surabaya. Setiap narasumber diberikan bobot berdasarkan kualifikasi Pendidikan serta pengalaman yang dimiliki, dengan mengacu pada aturan yang ditampilkan pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7. Kemudian poin diakumulasikan yang mengacu pada Tabel 4.8 dan kemudian hasil akumulasi dapat diubah ke dalam bentuk fermatean fuzzy berdasarkan Tabel 4.9.

Tabel 4.6: Kategori jenjang pendidikan narasumber

Jenjang Pendidikan	Poin
Di bawah SMA	1
SMA	2
S1	3
S2	4
S3	5

Tabel 4.7: Kategori lama pengalaman narasumber

Lama Pengalaman (tahun)	Poin
<3	1
3-5	2
6-10	3
11-15	4
>15	5

Tabel 4.8: Kategori narasumber berdasarkan akumulasi poin

Akumulasi Poin	Tingkat Kepentingan
1-2	Kurang Ahli
3-4	Ahli
5-6	Cukup Ahli
7-8	Sangat Ahli
9-10	Sangat Sangat Ahli

Tabel 4.9: Linguistik bobot narasumber

Linguistik	FFN
Kurang Ahli	(0.1000, 0.9500, 0.5213)
Ahli	(0.3000, 0.7500, 0.8199)
Cukup Ahli	(0.5500, 0.5000, 0.8915)
Sangat Ahli	(0.7500, 0.3000, 0.8199)
Sangat Sangat Ahli	(0.9500, 0.1000, 0.5213)

Data yang telah dikumpulkan dari para narasumber selanjutnya diolah dan dihitung menggunakan persamaan 2.1. Berdasarkan hasil bobot setiap narasumber pada Tabel 4.10 yang kemudian akan digunakan sebagai dasar dalam tahap analisis berikutnya.

Tabel 4.10: Bobot Narasumber

Narasumber	Tingkat Kepentingan	Bobot
R1	Cukup Ahli	0.0967
R2	Cukup Ahli	0.0967
R3	Cukup Ahli	0.0967
R4	Sangat Ahli	0.1295
R5	Sangat Ahli	0.1295
R6	Sangat Ahli	0.1295
R7	Cukup Ahli	0.0967

Narasumber	Tingkat Kepentingan	Bobot
R8	Ahli	0.0562
R9	Ahli	0.0562
R10	Ahli	0.0562
R11	Ahli	0.0562

4. Mengonstruksi matriks agregat keputusan kriteria dan subkriteria

Matriks agregat kriteria dihitung dengan menggunakan persamaan 2.2, sehingga dapat diperoleh sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.11, sedangkan matriks agregat subkriteria dihitung menggunakan persamaan 2.3 dengan hasil ditampilkan pada Tabel 4.12 berikut.

Tabel 4.11: Matriks agregat antar kriteria utama

Kriteria	Nilai
K1	(0.9258, 0.0017, 0.5911)
K2	(0.7709, 0.0106, 0.8153)
K3	(0.8006, 0.0077, 0.7867)
K4	(0.8352, 0.0079, 0.7473)
K5	(0.8157, 0.0206, 0.7704)

Tabel 4.12: Matriks agregat antar subkriteria

Subkriteria	Nilai
S1	(0.6900, 0.0559, 0.8756)
S2	(0.6934, 0.0356, 0.8735)
S3	(0.6109, 0.0771, 0.9172)
S4	(0.6646, 0.0609, 0.8905)
S5	(0.7182, 0.0551, 0.8570)
S6	(0.7541, 0.0419, 0.8297)
S7	(0.7276, 0.0252, 0.8503)
S8	(0.8637, 0.0040, 0.7086)
S9	(0.7801, 0.0161, 0.8069)
S10	(0.8254, 0.0054, 0.7592)
S11	(0.7336, 0.0255, 0.8459)
S12	(0.8848, 0.0033, 0.6749)
S13	(0.9136, 0.0019, 0.6193)

5. Menghitung bobot kriteria

Penentuan bobot kriteria utama dan subkriteria dilakukan secara bertahap yaitu dengan mencari bobot kriteria utama terlebih dahulu menggunakan persamaan 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8 yang kemudian dilanjutkan dengan menghitung bobot subkriteria dengan menggunakan persamaan 2.9, 2.10, 2.11, 2.12, 2.13 dan terakhir menghitung bobot akhir subkriteria dengan menggunakan persamaan 2.14. Melalui proses ini, diperoleh hasil akhir berupa bobot yang merepresentasikan tingkat kepentingan dari setiap

kriteria dan subkriteria. Hasil bobot setiap kriteria ditampilkan pada Tabel 4.14 dan bobot akhir setiap subkriteria pada Tabel 4.17.

Tabel 4.13: Nilai $score^+$ setiap kriteria

Kriteria	Nilai Agregat	$Score^+$	Ranking
K1	(0.9258, 0.0017, 0.5911)	1.7935	1
K2	(0.7709, 0.0106, 0.8153)	1.4581	5
K3	(0.8006, 0.0077, 0.7867)	1.5132	4
K4	(0.8352, 0.0079, 0.7473)	1.5826	2
K5	(0.8157, 0.0206, 0.7704)	1.5428	3

Tabel 4.14: Hasil bobot kriteria

Kriteria	$score^+$	c_l	k_l	q_l	Bobot
K1	1.7935	-	1	1	0.2426
K4	1.5826	0.210	1.210	0.825	0.2003
K5	1.5428	0.039	1.039	0.794	0.1927
K3	1.5132	0.029	1.029	0.771	0.1871
K2	1.4581	0.055	1.055	0.731	0.1773

Tabel 4.15: Nilai $score^+$ setiap subkriteria

Kriteria	Nilai Agregat	$Score^+$	Ranking
S1	(0.6900, 0.0559, 0.8756)	1.3283	11
S2	(0.6934, 0.0356, 0.8735)	1.3334	10
S3	(0.6109, 0.0771, 0.9172)	1.2275	13
S4	(0.6646, 0.0609, 0.8905)	1.2934	12
S5	(0.7182, 0.0551, 0.8570)	1.3703	9
S6	(0.7541, 0.0419, 0.8297)	1.4287	6
S7	(0.7276, 0.0252, 0.8503)	1.3852	8
S8	(0.8637, 0.0040, 0.7086)	1.6442	3
S9	(0.7801, 0.0161, 0.8069)	1.4747	5
S10	(0.8254, 0.0054, 0.7592)	1.5624	4
S11	(0.7336, 0.0255, 0.8459)	1.3947	7
S12	(0.8848, 0.0033, 0.6749)	1.6926	2
S13	(0.9136, 0.0019, 0.6193)	1.7625	1

Tabel 4.16: Hasil bobot subkriteria

Kriteria	$score^+$	c_l	k_l	q_l	W_j
S	1.7625	-	1	1	0.1025
S	1.6926	0.069	1.069	0.934	0.0958
S	1.6442	0.048	1.048	0.891	0.0914
S	1.5624	0.081	1.081	0.824	0.0845
S	1.4747	0.087	1.087	0.757	0.0777
S	1.4287	0.046	1.046	0.724	0.0743
S	1.3947	0.034	1.034	0.700	0.0718
S	1.3852	0.009	1.009	0.693	0.0711
S	1.3703	0.014	1.014	0.683	0.0701
S	1.3334	0.036	1.036	0.659	0.0676
S	1.3283	0.005	1.005	0.656	0.0673
S	1.2934	0.035	1.035	0.633	0.0650
S	1.2275	0.065	1.065	0.594	0.0610

Tabel 4.17: Hasil bobot akhir subkriteria

Subkriteria	Bobot Akhir	Ranking
S1	0.0163	6
S2	0.0164	5
S3	0.0164	13
S4	0.0115	12
S5	0.0124	11
S6	0.0139	9
S7	0.0133	10
S8	0.0171	3
S9	0.0156	7
S10	0.0169	4
S11	0.0144	8
S12	0.0185	2
S13	0.0197	1

6. Mengonstruksi matriks agregat alternatif terhadap subkriteria

Matriks Z dibentuk melalui perhitungan penilaian dari seluruh narasumber, dengan $Z = [z_{ij}]$ dan setiap z_{ij} menunjukkan entri pada matriks tersebut. Selanjutnya, penilaian yang diberikan narasumber terhadap setiap subkriteria diproses menggunakan persamaan 2.15, sehingga diperoleh konstruksi matriks Z yang ditunjukkan pada Tabel 4.18 sebagai berikut.

Tabel 4.18: Matriks agregat alternatif terhadap subkriteria

Alternatif	S1	Alternatif	S8
A1	(0.2346, 0.1914, 0.9933)	A1	(0.2143, 0.1773, 0.9948)
A2	(0.2461, 0.1691, 0.9934)	A2	(0.2074, 0.1861, 0.9949)
A3	(0.1891, 0.1917, 0.9954)	A3	(0.2170, 0.1792, 0.9946)
A4	(0.1470, 0.2661, 0.9926)	A4	(0.1404, 0.2480, 0.9940)
A5	(0.1342, 0.2473, 0.9941)	A5	(0.1107, 0.3167, 0.9888)
Alternatif	S2	Alternatif	S9
A1	(0.1971, 0.2035, 0.9946)	A1	(0.1256, 0.2617, 0.9933)
A2	(0.1095, 0.3184, 0.9887)	A2	(0.1632, 0.2336, 0.9943)
A3	(0.2467, 0.1576, 0.9936)	A3	(0.1059, 0.2609, 0.9936)
A4	(0.1156, 0.2746, 0.9925)	A4	(0.0983, 0.2669, 0.9933)
A5	(0.1416, 0.2389, 0.9945)	A5	(0.0815, 0.3057, 0.9902)
Alternatif	S3	Alternatif	S10
A1	(0.0349, 0.4726, 0.9635)	A1	(0.1464, 0.2294, 0.9949)
A2	(0.0607, 0.4188, 0.9748)	A2	(0.1657, 0.2050, 0.9956)
A3	(0.1098, 0.2988, 0.9906)	A3	(0.1476, 0.2177, 0.9955)
A4	(0.0441, 0.4684, 0.9645)	A4	(0.1069, 0.2882, 0.9915)
A5	(0.0615, 0.4149, 0.9755)	A5	(0.0968, 0.2963, 0.9909)
Alternatif	S4	Alternatif	S11
A1	(0.1021, 0.2832, 0.9920)	A1	(0.2127, 0.1843, 0.9947)
A2	(0.1034, 0.2895, 0.9915)	A2	(0.2001, 0.2051, 0.9944)
A3	(0.0985, 0.2785, 0.9924)	A3	(0.1927, 0.2131, 0.9944)
A4	(0.0939, 0.2941, 0.9912)	A4	(0.1295, 0.2610, 0.9933)
A5	(0.0929, 0.2901, 0.9915)	A5	(0.1115, 0.2505, 0.9943)
Alternatif	S5	Alternatif	S12
A1	(0.1635, 0.2389, 0.9940)	A1	(0.1874, 0.2122, 0.9946)
A2	(0.1930, 0.2022, 0.9948)	A2	(0.2050, 0.1843, 0.9950)
A3	(0.1910, 0.2046, 0.9948)	A3	(0.1376, 0.2332, 0.9949)
A4	(0.2182, 0.1860, 0.9944)	A4	(0.0999, 0.2745, 0.9927)
A5	(0.0809, 0.3937, 0.9790)	A5	(0.1598, 0.2238, 0.9949)
Alternatif	S6	Alternatif	S13
A1	(0.2395, 0.1721, 0.9937)	A1	(0.1812, 0.2436, 0.9932)
A2	(0.1978, 0.2097, 0.9943)	A2	(0.1896, 0.2068, 0.9947)
A3	(0.2524, 0.1604, 0.9932)	A3	(0.1633, 0.2017, 0.9958)

A4	(0.1332, 0.2669, 0.9928)	A4	(0.1599, 0.2294, 0.9946)
A5	(0.1102, 0.3003, 0.9904)	A5	(0.1939, 0.2044, 0.9947)
Alternatif	S7		
A1	(0.2105, 0.1749, 0.9951)		
A2	(0.2132, 0.1924, 0.9944)		
A3	(0.1629, 0.2097, 0.9955)		
A4	(0.2107, 0.1778, 0.9950)		
A5	(0.1483, 0.2381, 0.9944)		

7. Menentukan solusi ideal positif dan solusi ideal negatif

Solusi ideal positif I^+ dan solusi ideal negatif I^- ditentukan berdasarkan kriteria keuntungan (*benefit criteria*) dan kriteria biaya (*cost criteria*). Pada penelitian ini subkriteria yang masuk ke dalam kategori kriteria keuntungan adalah efektivitas penurunan suhu, peningkatan kualitas udara, kontribusi ekonomi, peningkatan Kesehatan masyarakat, kualitas kenyamanan dan estetika kota, tingkat partisipasi masyarakat, kesesuaian regulasi, dan dukungan pemerintah. Sedangkan subkriteria yang masuk ke dalam kategori kriteria biaya adalah biaya operasional/pemeliharaan, ketersediaan teknologi, integrasi infrastruktur, dan potensi pengembangan. Solusi ideal positif dan solusi ideal negatif ini ditentukan berdasarkan nilai *score* dengan menggunakan persamaan 2.16 yang kemudian ditentukan menggunakan persamaan 2.17 dan 2.18, sehingga diperoleh nilai solusi idela positif dan solusi idela negatif pada Tabel 4.19 berikut.

Tabel 4.19: Solusi idela positif dan solusi ideal negatif

	I^+	I^-
z_1	(0.2461, 0.1691, 0.9934)	(0.1470, 0.2661, 0.9926)
z_2	(0.2457, 0.1576, 0.9936)	(0.1095, 0.3184, 0.9887)
z_3	(0.2457, 0.1576, 0.9936)	(0.1098, 0.2988, 0.9906)
z_4	(0.2105, 0.1749, 0.9951)	(0.0939, 0.2941, 0.9912)
z_5	(0.2182, 0.1860, 0.9944)	(0.0809, 0.3937, 0.9790)
z_6	(0.2524, 0.1604, 0.9932)	(0.1102, 0.3003, 0.9904)
z_7	(0.0968, 0.2963, 0.9909)	(0.1483, 0.2381, 0.9944)
z_8	(0.2170, 0.1792, 0.9946)	(0.1107, 0.3167, 0.9888)
z_9	(0.0815, 0.3057, 0.9902)	(0.1632, 0.2336, 0.9943)
z_{10}	(0.0968, 0.2963, 0.9909)	(0.0968, 0.2963, 0.9909)
z_{11}	(0.1295, 0.2610, 0.9933)	(0.2127, 0.1843, 0.9947)
z_{12}	(0.2050, 0.1843, 0.9950)	(0.0999, 0.2745, 0.9927)
z_{13}	(0.1939, 0.2044, 0.9947)	(0.1812, 0.2436, 0.9932)

8. Menghitung jarak antara alternatif dengan solusi ideal positif dan solusi ideal negatif

D^+ merupakan hasil perhitungan jarak antara solusi ideal positif dengan alternatif pada matriks agregat Z yang dihitung dengan menggunakan persamaan 2.19, sedangkan D^- merupakan hasil

perhitungan jarak antara solusi ideal negatif dengan alternatif matriks agregat Z yang dihitung dengan menggunakan persamaan 2.20. Hasil jarak antara alternatif dengan solusi ideal positif dan solusi ideal negatif ditampilkan pada Tabel 4.20 berikut ini.

Tabel 4.20: Nilai perhitungan jarak antara alternatif dengan solusi ideal positif dan solusi ideal negatif

Alternatif	D_i^+	D_i^-
A1	0.0010	0.0030
A2	0.0016	0.0024
A3	0.0018	0.0024
A4	0.0014	0.0026
A5	0.0023	0.0017

9. Menghitung nilai preferensi

Setelah diperoleh jarak antara setiap alternatif terhadap solusi ideal positif dan solusi ideal negatif, selanjutnya adalah menghitung nilai preferensi dengan menggunakan persamaan 2.21. Nilai preferensi ini menggambarkan kedekatan relatif dari setiap alternatif terhadap solusi ideal, dimana semakin tinggi nilainya maka alternatif tersebut dianggap lebih baik. Hasil perhitungan nilai preferensi ditunjukkan pada Tabel 4.21 berikut ini.

Tabel 4.21: Nilai preferensi setiap alternatif

Alternatif	ϕ_i
A1	0.7607
A2	0.6029
A3	0.5752
A4	0.6593
A5	0.4306

10. Memberi peringkat pada alternatif

Tabel 4.21 merupakan hasil dan nilai preferensi untuk semua alternatif yang kemudian diberikan peringkat yang hasilnya ditampilkan pada Tabel 4.22 sebagai berikut.

Tabel 4.22: Nilai preferensi dan peringkat setiap alternatif

Alternatif	ϕ_i	Peringkat
A1 (Ruang terbuka hijau)	0.7607	1
A4 (<i>Green building</i>)	0.6593	2
A2 (Ruang terbuka biru)	0.6029	3
A3 (Pengurangan emisi kendaraan)	0.5752	4
A5 (Regulasi pembangunan gedung)	0.4306	5

Penilaian strategi mitigasi UHI dilakukan menggunakan lima kriteria dan 13 subkriteria,

dengan aspek lingkungan memiliki bobot tertinggi, disusul teknis, kebijakan, sosial, dan ekonomi. Meski demikian, bobot tertinggi justru muncul pada subkriteria kebijakan, yaitu dukungan pemerintah dan kesesuaian regulasi, diikuti partisipasi masyarakat dan integrasi infrastruktur, yang menunjukkan bahwa keberhasilan mitigasi lebih ditentukan oleh faktor regulatif dan implementatif dibandingkan indikator lingkungan yang sulit dikendalikan. Hasil perhitungan menggunakan metode fermatean fuzzy SWARA-TOPSIS menempatkan Ruang Terbuka Hijau sebagai strategi mitigasi UHI paling efektif, diikuti *Green Building*, Ruang Terbuka Biru, dan Pengurangan Emisi Kendaraan, sedangkan Regulasi Pembangunan Gedung berada di posisi terakhir karena efektivitasnya sangat bergantung pada kepatuhan dan pengawasan.

Secara keseluruhan, hasil pemeringkatan menunjukkan bahwa kelima strategi mitigasi yang dianalisis, yaitu Ruang Terbuka Hijau (A1), Ruang Terbuka Biru (A2), Pengurangan Emisi Kendaraan (A3), *Green Building* (A4), dan Regulasi Pembangunan Gedung (A5) memiliki peran yang saling melengkapi. Pemeringkatan dilakukan bukan untuk menentukan strategi mana yang harus dipilih secara eksklusif, melainkan untuk memberikan gambaran prioritas dalam implementasi. Dengan demikian, hasil perankingan dapat digunakan sebagai dasar evaluasi efektivitas dan urgensi masing-masing strategi, sehingga perencanaan kebijakan dapat dilakukan secara bertahap dan terarah. Upaya mitigasi UHI di Kota Surabaya tetap perlu dilakukan secara terpadu. Semua strategi akan lebih efektif jika dijalankan bersama, namun urutan prioritas dari hasil perankingan dapat menjadi acuan dalam menentukan fokus kebijakan dan pengalokasian sumber daya secara lebih efisien.

PENUTUP

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis secara menyeluruh mengenai pemilihan strategi mitigasi terbaik untuk mengatasi *Urban heat island* di Kota Surabaya menggunakan metode fermatean fuzzy SWARA-TOPSIS dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan hasil analisis diperoleh bahwa aspek lingkungan merupakan faktor yang paling berpengaruh dalam penentuan strategi mitigasi

Urban heat island di Kota Surabaya, diikuti oleh aspek teknis dan kebijakan, sedangkan aspek ekonomi memiliki bobot terendah. Pada tingkat subkriteria, dukungan pemerintah menjadi faktor yang paling dominan.

2. Strategi mitigasi UHI yang paling efektif di Kota Surabaya adalah penghijauan melalui ruang terbuka hijau, disusul oleh *green building*, ruang terbuka biru, dan pengurangan emisi kendaraan, sementara regulasi pembangunan gedung baru menempati prioritas paling rendah. Temuan ini menunjukkan bahwa upaya mitigasi UHI perlu dipusatkan pada strategi berbasis lingkungan yang diperkuat oleh dukungan kebijakan pemerintah.

SARAN

Saran untuk penelitian selanjutnya dalam menyelesaikan permasalahan mengenai strategi mitigasi, khususnya terkait *Urban Heat Island* bisa dengan menambah jumlah data dari para ahli yang berkompeten di bidang lingkungan/mitigasi agar hasil yang diperoleh lebih valid dan representatif. Selain itu, perlu dilakukan penyusunan hierarki kriteria dan subkriteria yang lebih seimbang, sehingga hubungan antara tingkat kepentingan kriteria dan subkriteria dapat terjaga secara konsisten dan diharapkan ke depan terdapat kajian serupa dengan menggunakan metode yang berbeda sehingga dapat diperoleh perbandingan hasil yang lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- AESIA. (2023). *Apa itu Green Building? Manfaat dan Fungsinya Untuk Kehidupan Yang Lebih Baik*. <https://aesia.kemenkeu.go.id/mobile/artikel-berita-properti/detail/104>
- Ayyildiz, E. (2022). Fermatean fuzzy step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) and its application to prioritizing indicators to achieve sustainable development goal-7. *Renewable Energy*, *193*, 136–148. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.05.021>
- Ayyildiz, E., & Erdogan, M. (2024). A fermatean fuzzy SWARA-TOPSIS methodology based on SCOR model for autonomous vehicle parking lot selection. *Applied Soft Computing*, *166*, 112198. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2024.112198>
- Badan Pusat Statistika Kota Surabaya. (2022). *Kota Surabaya dalam Angka 2022*. <https://surabayakota.bps.go.id/id/publication/2022/02/25/e65b36a5a3abccf19e24dd79/kota-surabaya-dalam-angka-2022.html>

- Balany, F., Ng, A. W. M., Muttill, N., Muthukumaran, S., & Wong, M. S. (2020). Green infrastructure as an urban heat island mitigation strategy—a review. Dalam *Water (Switzerland)* (Vol. 12, Nomor 12). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/w12123577>
- Banihashemi, S., Khalilzadeh, M., Antucheviciene, J., & Šaparauskas, J. (2021). Trading off Time–Cost–Quality in Construction Project Scheduling Problems with Fuzzy SWARA–TOPSIS Approach. *Buildings*, *11*(9), 387. <https://doi.org/10.3390/buildings11090387>
- BINARTI, F., & SANTOSO, A. J. (2022). IDENTIFYING CLIMATE CHANGE VULNERABILITY BASED ON LAND COVER INDICATORS: A CASE STUDY IN SURABAYA, INDONESIA. *Geographia Technica*, *18*(1/2023), 71–84. https://doi.org/10.21163/GT_2023.181.06
- 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>
- Krassimir T. Atanassov. (1986). *INTUITIONISTIC FUZZY SETS*.
- Kurniati, A. C., & Nitivattananon, V. (2016). Factors influencing urban heat island in Surabaya, Indonesia. *Sustainable Cities and Society*, *27*, 99–105. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.07.006>
- Mills, G. (2008). Luke Howard and *The Climate of London*. *Weather*, *63*(6), 153–157. <https://doi.org/10.1002/wea.195>
- National Geographic. (2024). *Urban Heat Island*. <https://education.nationalgeographic.org/resource/urban-heat-island/>
- Noviyanti, E., Pamungkas, A., & Santoso, E. B. (2014). *Factors Affect of Urban Heat Island from City form and City Function in Downtown Surabaya City (UP. Tunjungan)*. <http://www.ijert.org>
- Pemerintah Kota Surabaya. (2022). *Lampau Target Pemerintah Pusat, Ruang Terbuka Hijau di Surabaya Capai 22 Persen*. <https://surabaya.go.id/id/berita/12113/lampau-target-pemerintah-pusat-ruang-terbuka-hijau-di-surabaya-capai-22-persen>
- Power, D. J. (2002). *Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers*. Quorum Books.
- Putri Darlina, S., Sasmito, B., & Darmo Yuwono, B. (2018). ANALISIS FENOMENA URBAN HEAT ISLAND SERTA MITIGASINYA (STUDI KASUS: KOTA SEMARANG). Dalam *Jurnal Geodesi Undip Juli* (Vol. 7, Nomor 3).
- Ramadhan, M., & Adiyaksa, I. (2022). Deteksi Pemanfaatan Ruang Terbuka Biru di Wilayah Utara Jakarta. *Jurnal Riset Jakarta*, *15*(1). <https://doi.org/10.37439/jurnalrd.v15i1.61>
- Rushayati, S. B., & Hermawan, R. (2013). Characteristics of Urban Heat Island Condition in DKI Jakarta. *Forum Geografi*, *27*(2), 111. <https://doi.org/10.23917/forgeo.v27i2.2370>
- Senapati, T., & Yager, R. R. (2020a). Fermatean fuzzy sets. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, *11*(2), 663–674. <https://doi.org/10.1007/s12652-019-01377-0>
- Senapati, T., & Yager, R. R. (2020b). Fermatean fuzzy sets. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, *11*(2), 663–674. <https://doi.org/10.1007/s12652-019-01377-0>
- Shepherd, J. M. (2005). A review of current investigations of urban-induced rainfall and recommendations for the future. Dalam *Earth Interactions* (Vol. 9, Nomor 12). American Meteorological Society. <https://doi.org/10.1175/EI156.1>
- Ulutaş, A., Karakuş, C. B., & Topal, A. (2020). Location selection for logistics center with fuzzy SWARA and CoCoSo methods. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, *38*(4), 4693–4709. <https://doi.org/10.3233/JIFS-191400>
- Vujovic, S., Haddad, B., Karaky, H., Sebaibi, N., & Boutouil, M. (2021). Urban Heat Island: Causes, Consequences, and Mitigation Measures with Emphasis on Reflective and Permeable Pavements. *CivilEng*, *2*(2), 459–484. <https://doi.org/10.3390/civileng2020026>