

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Wilayah perkotaan memiliki tingkat perkembangan yang relatif pesat dan pertumbuhan penduduk yang cepat (Fahreza et al., 2022). Urbanisasi menyebabkan peningkatan jumlah penduduk, yang pada gilirannya mengubah tampilan fisik lanskap kota akibat aktivitas masyarakatnya yang bersifat antroposentris (Widyanti et al., 2025). Dalam prosesnya, urbanisasi membawa perubahan signifikan pada tata ruang dan pemanfaatan lahan di wilayah perkotaan, terkait dengan pertumbuhan penduduk dan meningkatnya kebutuhan ruang terbangun, seperti perumahan dan permukiman, infrastruktur, serta fasilitas publik dan sosial lainnya yang diperlukan untuk mendukung kebutuhan manusia (Rahman et al., 2024). Sayangnya, perubahan tata guna lahan akibat urbanisasi dan pengembangan wilayah perkotaan yang berlangsung secara terus-menerus tanpa memperhatikan keseimbangan lingkungan memicu berbagai masalah lingkungan (Wati & Fatkhuroyan, 2017). Salah satunya permasalahan pemanasan kota atau *Urban Heat Island* (UHI).

Urban Heat Island didefinisikan sebagai fenomena di mana suhu di daerah perkotaan lebih tinggi daripada di daerah pedesaan (Balany et al., 2020) dan merupakan salah satu bencana yang tergolong sebagai bencana klimatologi perkotaan (Bhaskara & Pratomo, 2023) yang turut berkontribusi pada pemanasan global (*global warming*) (Trida, 2016). UHI terjadi karena lingkungan perkotaan menyerap dan mengubah energi matahari menjadi panas konveksi (panas sensibel), sehingga suhu di perkotaan menjadi lebih tinggi daripada pedesaan, di mana vegetasi memungkinkan transformasi energi matahari menjadi panas laten (Stache et al., 2022). Tingkat panas yang tidak seragam di wilayah perkotaan dan pedesaan disebabkan oleh perbedaan konduktivitas termal di antara keduanya, sehingga wilayah perkotaan cenderung memiliki suhu lebih tinggi dibandingkan daerah pedesaan (Oke, 1982). UHI menyebabkan penurunan kualitas lingkungan yang signifikan, yang berakibat pada penurunan produktivitas masyarakat perkotaan yang akan membutuhkan lebih banyak energi untuk keperluan pendinginan (Najah et al., 2022; Rizki et al., 2024).

UHI hampir terjadi di semua wilayah perkotaan, baik kota-kota besar maupun kecil (Weng et al., 2004). Urbanisasi berdampak pada perubahan penggunaan lahan, yang kemudian berkontribusi pada terbentuknya UHI (Oke, 1982). Salah satu kota yang mengalami fenomena ini yaitu Metropolitan Surakarta.

Metropolitan Surakarta sendiri merupakan salah satu pusat pertumbuhan di Provinsi Jawa Tengah yang memiliki peran penting dalam menunjang kota-kota besar lainnya seperti

Semarang dan Yogyakarta (Saputra, 2021), yang saat ini tengah menghadapi tantangan berupa tekanan untuk menyeimbangkan pembangunan ekonomi dengan kebutuhan pelestarian lingkungan (Ismiyani et al., 2023). Dengan peranannya tersebut membuka peluang pengembangan wilayah sekitar, memanfaatkan pusat pertumbuhan, ekosistem bisnis matang, kehadiran perusahaan multinasional, dan konektivitas global (Athukorala & Narayanan, 2018). Oleh karena itu, Metropolitan Surakarta menjadi magnet bagi warga daerah untuk beraktivitas ekonomi dan sosial.

Namun, daya tarik tersebut menyebabkan tekanan aktivitas perkotaan menjadi lebih intens. Kondisi ini mendorong alih fungsi lahan menjadi lahan terbangun, seperti perumahan, perkantoran, dan jalan raya. Alih fungsi lahan tidak hanya mengurangi kemampuan kota dalam menyerap panas, tetapi juga memperparah fenomena *Urban Heat Island* (UHI) (Ananta et al., 2025). Seiring bertambahnya populasi, lahan untuk RTH semakin berkurang karena kebutuhan akan perumahan juga meningkat. Kurangnya RTH di Metropolitan Surakarta merupakan konsekuensi dari perkembangan kota menjadi sebuah kota besar baru dan keterbukaan terhadap investasi.

Langkah untuk memitigasi dampak fenomena UHI di wilayah perkotaan dengan meningkatkan ketersediaan Ruang Terbuka Hijau. Ruang Terbuka Hijau (RTH) memiliki peran ekologis penting dalam mengatur suhu udara pada skala regional (Rakhmanita, 2024). Keberadaan RTH mampu menurunkan suhu udara sekitar 0,5 – 5°C (Najah et al., 2022). Oleh karena itu, pengurangan RTH dapat meningkatkan temperatur udara, yang selanjutnya berdampak pada suhu permukaan (Effendy, 2009).

Mengingat urgensi isu perubahan iklim global, penelitian ini bertujuan untuk memberikan arahan dalam pengembangan Ruang Terbuka Hijau (RTH) sebagai upaya mengatasi efek *Urban Heat Island* (UHI) guna menjaga iklim mikro dan kenyamanan termal di Metropolitan Surakarta. Pemanfaatan penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis memungkinkan analisis secara mendalam untuk mengidentifikasi lokasi potensial untuk Ruang Terbuka Hijau, dengan mempertimbangkan parameter *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Temperature Heat Index* (THI), dan kepadatan penduduk, yang masing-masing mewakili aspek biologis, aspek fisik, dan aspek sosial melalui data citra satelit Landsat 8 (Humaida, 2016; Satar et al., 2023b). Maka, penelitian ini menetapkan lokasi kebutuhan prioritas pengembangan RTH sebagai langkah penting dalam menanggulangi fenomena UHI di Metropolitan Surakarta.

1.2. Rumusan Permasalahan

Perkembangan Metropolitan Surakarta berdampak pada alih fungsi lahan vegetatif menjadi lahan terbangun, yang meluas hingga ke daerah-daerah pinggiran karena keterbatasan ruang di kota inti. Kelangkaan Ruang Terbuka Hijau tersebut diperkirakan berkontribusi terhadap fenomena *Urban Heat Island* (UHI). Kondisi demikian memicu Metropolitan Surakarta mengalami peningkatan kenaikan suhu permukaan dan memengaruhi fenomena *Urban Heat Island*.

Urban Heat Island (UHI) menjadi masalah krusial di tengah perubahan iklim global karena dapat menyebabkan panas berlebihan yang berdampak negatif pada sektor energi, kualitas udara, dan kesehatan masyarakat. Panas berlebih di perkotaan meningkatkan konsumsi energi pendingin, memicu lonjakan permintaan listrik, dan meningkatkan kadar ozon di permukaan tanah. Suhu panas dapat dikurangi oleh kawasan vegetasi, sementara kawasan terbangun dan lahan tandus justru mempercepat peningkatan suhu permukaan. Jika kualitas unsur iklim mikro menurun, diperkirakan akan terjadi dampak negatif terhadap kenyamanan dan kesehatan masyarakat, yang pada akhirnya dapat memengaruhi tingkat produktivitas warga (M. A. A. Saputra et al., 2022). Oleh karena itu, keberadaan ruang terbuka hijau di suatu kota sangat penting untuk diperhatikan agar dapat mengoptimalkan perannya dalam menciptakan iklim mikro yang sejuk dan nyaman.

Menyadari pentingnya Ruang Terbuka Hijau (RTH) dalam mereduksi efek *Urban Heat Island* (UHI), penelitian ini bertujuan mengidentifikasi lokasi-lokasi prioritas yang membutuhkan pengembangan RTH di Metropolitan Surakarta dengan mempertimbangkan aspek biologi, fisik, dan sosial. Penentuan prioritas pengembangan RTH dilakukan secara spasial melalui pemanfaatan data penginderaan jauh, sehingga menghasilkan arahan lokasi secara cepat dan akurat. Sebagai langkah awal, dilakukan analisis sebaran UHI secara *time series* untuk membuktikan bahwa Metropolitan Surakarta mengalami fenomena UHI. Berdasarkan temuan tersebut, strategi mitigasi yang diusulkan difokuskan pada pengembangan RTH di lokasi-lokasi prioritas. Dengan demikian, rumusan masalah penelitian ini adalah: **“bagaimana penentuan prioritas pengembangan Ruang Terbuka Hijau yang efektif untuk mengurangi dampak fenomena *Urban Heat Island* di Metropolitan Surakarta?”**

1.3. Tujuan dan Sasaran

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah disampaikan, tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah menganalisis lokasi kebutuhan prioritas pengembangan Ruang Terbuka Hijau (RTH) sebagai upaya mitigasi fenomena *Urban Heat Island* di Metropolitan

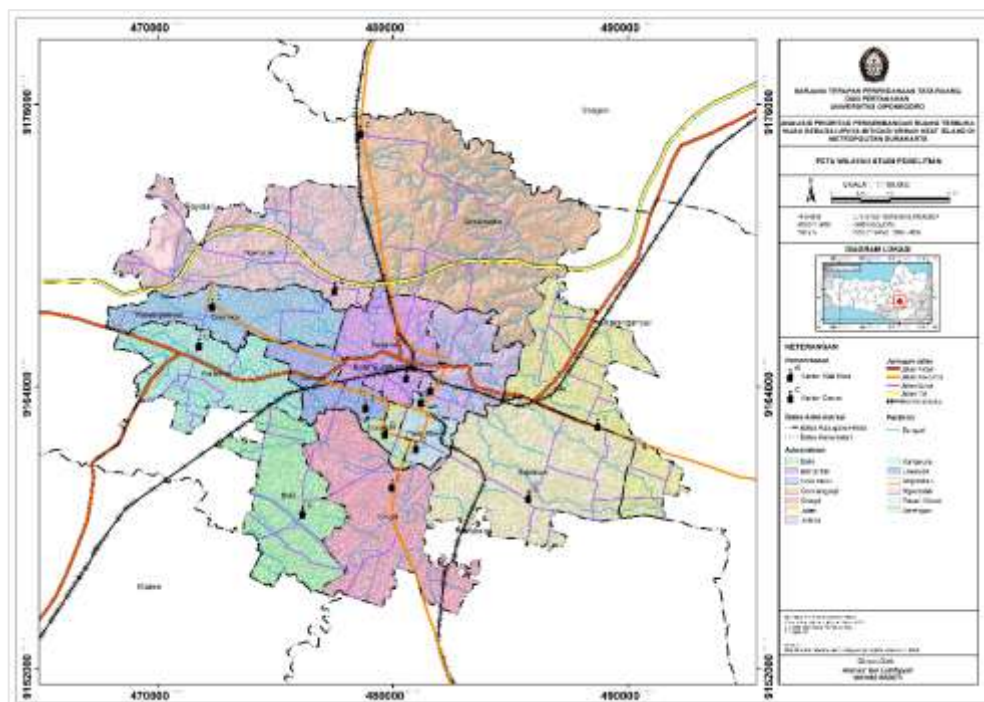
Surakarta. Untuk mempermudah dalam mencapai tujuan dari penelitian ini, berikut sasaran yang perlu dicapai oleh peneliti, antara lain:

1. Mengidentifikasi distribusi spasial UHI (*Urban Heat Island*) di Metropolitan Surakarta.
2. Menganalisis penentuan kebutuhan pengembangan Ruang Terbuka Hijau (RTH) sebagai upaya mitigasi fenomena UHI di Metropolitan Surakarta.
3. Menganalisis lokasi potensial dan luasan prioritas pengembangan Ruang Terbuka Hijau di Metropolitan Surakarta.

1.4. Ruang Lingkup

1.4.1. Ruang Lingkup Wilayah

Ruang lingkup wilayah dalam penelitian ini difokuskan pada wilayah Metropolitan Surakarta, yang mencakup Kota Surakarta sebagai pusat perkotaan (*urban core*) dan sejumlah kecamatan di sekitarnya yang berperan sebagai wilayah penyangga (*peri-urban dan rural*). Adapun kecamatan-kecamatan yang termasuk dalam wilayah studi ini meliputi seluruh kecamatan di Kota Surakarta, serta Kecamatan Ngemplak (Kabupaten Boyolali), Kecamatan Colomadu, Jaten, dan Gondangrejo (Kabupaten Karanganyar), serta Kecamatan Baki, Grogol, Mojolaban, dan Kartasura (Kabupaten Sukoharjo).



Sumber: Badan Informasi Geospasial, 2022

Gambar 1.1. Peta Administrasi Metropolitan Surakarta

Dalam penelitian ini, skala analisis yang digunakan adalah skala metropolitan yang mencakup Kota Surakarta sebagai pusat perkotaan (*urban core*) dan wilayah penyangganya, yaitu Kabupaten Boyolali, Karanganyar, dan Sukoharjo. Pemilihan skala ini didasarkan pada dua alasan utama yang saling berkaitan.

Pertama, fenomena *Urban Heat Island* (UHI) tidak hanya terbatas pada batas administratif kota, tetapi juga memengaruhi wilayah peri-urban di sekitarnya. Oleh karena itu, pemilihan skala metropolitan memungkinkan strategi mitigasi UHI dapat diintegrasikan secara lintas wilayah administratif. Hal ini sejalan dengan definisi UHI yang menekankan adanya perbedaan suhu antara pusat kota dan wilayah sekitarnya, serta untuk melihat degradasi suhu antar kedua wilayah, seperti yang diungkapkan oleh Wibisono et al. (2023).

Kedua, pemilihan wilayah ini didasarkan pada pesatnya pertumbuhan Kota Surakarta yang memicu perluasan aktivitas perkotaan ke wilayah sekitarnya akibat keterbatasan ruang. Kecamatan-kecamatan penyangga tersebut merupakan daerah yang berbatasan langsung dengan kota, sesuai dengan temuan Mardiansjah et al. (2018) yang mengidentifikasi arah perkembangan kota yang cenderung meluas ke daerah pinggiran. Dengan demikian, analisis pada skala metropolitan menjadi relevan karena dapat mencakup perbandingan antara wilayah urban, peri-urban, dan rural secara menyeluruh.

1.4.2. Ruang Lingkup Materi

Ruang lingkup materi adalah batasan yang diterapkan dalam penelitian agar analisis tetap fokus pada tujuan yang relevan. Cakupan ruang lingkup materi yang akan dibahas dalam penelitian ini meliputi:

1. Identifikasi Distribusi Spasial UHI

Identifikasi UHI dilakukan dengan pengolahan citra satelit pada citra Landsat 7 dan 8 untuk identifikasi kerapatan vegetasi melalui *Normalize Difference Vegetation Index* (NDVI) serta untuk mengkaji sebaran suhu permukaan lahan *Land Surface Temperature* (LST) dalam mengidentifikasi terjadinya fenomena *Urban Heat Island* di Metropolitan Surakarta. Adapun data Landsat 7 untuk analisis UHI tahun 2002 dan 2009, serta Landsat 8 untuk tahun 2014, 2019, dan 2024.

2. Analisis Penentuan Prioritas Pengembangan Ruang Terbuka Hijau

Analisis penentuan prioritas Ruang Terbuka Hijau dalam penelitian ini mengacu pada metode yang diterapkan oleh Humaida (2016) pada penelitiannya, yaitu “Metode Penentuan Prioritas Ruang Terbuka Hijau di Kota Banjarbaru Kalimantan Selatan”. Lokasi prioritas Ruang Terbuka Hijau di Metropolitan

Surakarta, sebagai solusi untuk mendinginkan suhu perkotaan akibat *Urban Heat Island*, akan divisualisasikan melalui *overlay* dan skoring pada parameter kerapatan vegetasi, indeks kenyamanan, dan kepadatan penduduk. Parameter-parameter dalam analisis ini selanjutnya dijabarkan di bawah ini.

a. Kerapatan Vegetasi

Kerapatan vegetasi dianalisis menggunakan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), yakni metode yang umum dipakai untuk mengukur tingkat kehijauan serta kondisi vegetasi di suatu area. Parameter ini merepresentasikan aspek biologi yang berperan dalam penentuan wilayah prioritas pengembangan RTH.

b. Indeks Kenyamanan

Indeks kenyamanan (*Temperature Humidity Index*) dipilih sebagai indikator fisik untuk mengidentifikasi fenomena *Urban Heat Island*. Indeks ini menggambarkan interaksi suhu dan kelembaban udara yang memengaruhi tingkat kenyamanan manusia, sehingga lebih relevan dibanding sekadar menggunakan data suhu permukaan.

c. Kepadatan Penduduk

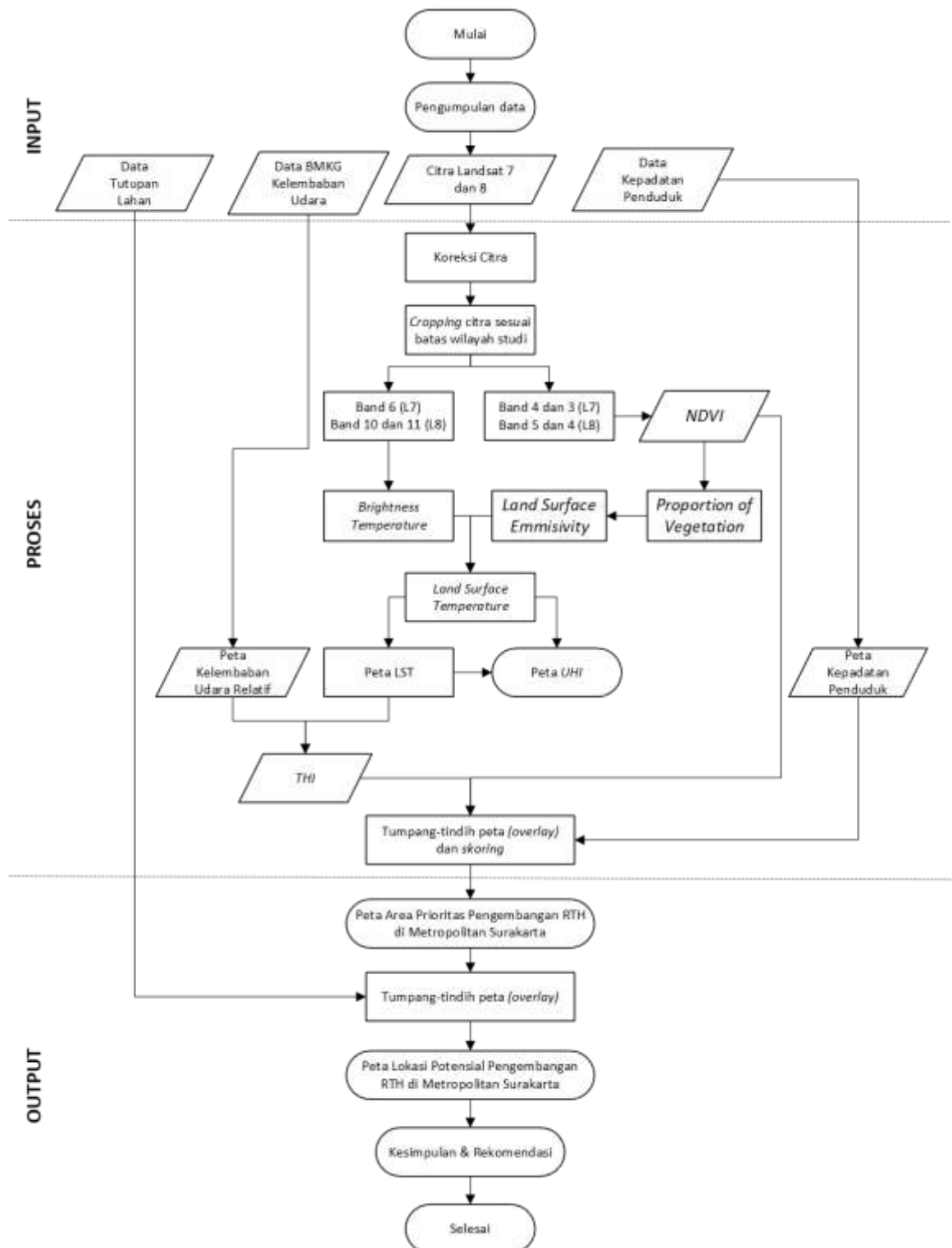
Aspek sosial diwakili oleh kepadatan penduduk, mengingat fenomena *Urban Heat Island* umumnya lebih menonjol pada kawasan perkotaan dengan konsentrasi penduduk yang tinggi.

3. Rekomendasi Lokasi Kebutuhan Prioritas Pengembangan Ruang Terbuka Hijau sebagai Upaya Mitigasi Fenomena *Urban Heat Island*

Rekomendasi lokasi kebutuhan prioritas pengembangan Ruang Terbuka Hijau (RTH) mencakup proses *overlay* peta NDVI, THI, dan kepadatan penduduk untuk menentukan wilayah yang memiliki kebutuhan pengembangan RTH tertinggi di Metropolitan Surakarta. Analisis ini menghasilkan dua kategori utama, yaitu Prioritas 1 untuk wilayah dengan vegetasi rendah, suhu tinggi, dan kepadatan penduduk tinggi, serta Prioritas 2 untuk wilayah dengan kondisi sedang pada ketiga parameter tersebut. Hasil akhir berupa peta *overlay* dan luasan tiap kategori prioritas, yang menjadi dasar dalam perencanaan pengembangan RTH sesuai kebijakan pemerintah Metropolitan Surakarta.

1.5. Tahapan/Proses

Tahapan pada penelitian tugas akhir ini dapat divisualisasikan sebagai berikut:



Sumber: Penulis, 2025

Gambar 1.2. Diagram Alur Proses Penelitian

1. Tahapan Awal

Penelitian dimulai dengan melakukan kajian literatur untuk mengidentifikasi masalah dan fenomena yang terjadi di wilayah studi. Selanjutnya, peneliti mengumpulkan beberapa data, seperti citra Landsat 7 dan 8, data suhu dan kelembaban udara dari BMKG, data kepadatan penduduk, dan data tutupan lahan untuk membantu dalam proses penyusunan penelitian.

2. Tahapan Analisis

Tahapan analisis bertujuan untuk mendapatkan informasi dari data yang telah dikumpulkan. Analisis yang dilakukan oleh peneliti terbagi menjadi dua: analisis *UHI* dan analisis penentuan prioritas pengembangan RTH. Proses analisis dimulai dengan mengolah Citra Satelit Landsat 7 dan 8 untuk mengidentifikasi fenomena *Urban Heat Island* di Metropolitan Surakarta. Analisis UHI dilakukan pada tahun 2002, 2009, 2014, 2019, dan 2024 untuk melihat perkembangan fenomena UHI. Dalam proses identifikasi UHI, dilakukan analisis NDVI (*Normalize Difference Vegetation Index*) tahun 2024 yang juga menjadi salah satu parameter untuk menentukan prioritas pengembangan RTH. Dari analisis NDVI akan menghasilkan data LST yang digunakan untuk mengidentifikasi UHI dan THI. THI diperoleh dari *overlay* peta kelembaban udara relatif dan LST. Setelah analisis UHI selesai, langkah berikutnya adalah analisis penentuan prioritas pengembangan RTH. Dalam analisis penentuan prioritas pengembang RTH menggunakan data NDVI, THI, dan kepadatan penduduk tahun 2024 yang kemudian dilakukan tumpang tindih dengan tools *Weighted Sum* untuk menghasilkan tingkatan skor.

3. Tahapan Akhir

Tahapan akhir merupakan proses penyusunan hasil utama dari seluruh rangkaian analisis. Pada tahap ini dilakukan *overlay* antara tiga variabel utama, yaitu NDVI, THI, dan kepadatan penduduk, untuk menentukan tingkat kebutuhan pengembangan RTH di wilayah Metropolitan Surakarta. Hasil *overlay* menghasilkan peta kebutuhan prioritas pengembangan RTH yang menunjukkan lokasi dengan tingkat kebutuhan ruang hijau berbeda. Setiap kombinasi nilai dari ketiga variabel diberi skor sesuai tingkat kebutuhan: semakin rendah vegetasi, semakin tinggi suhu, dan semakin padat penduduk, maka semakin tinggi pula kebutuhannya. Peta ini menjadi output utama analisis dan dasar rekomendasi pengembangan RTH di Metropolitan Surakarta.

1.6. Metode dan Hasil Akhir

1.6.1. Tabel Kebutuhan Data

Dalam melaksanakan penelitian ini dibutuhkan beberapa data yang digunakan untuk melakukan analisis. Adapun data-data yang diperlukan dalam penelitian ini sebagai berikut.

Tabel 1.1. Tabel Kebutuhan Data

Sasaran	Nama Data	Jenis Data	Tahun	Bentuk Data	Sumber Data	Teknik Survei
Identifikasi Distribusi Spasial UHI	Citra Landsat 7 dan 8	Sekunder	2002, 2009, 2014, 2019, 2024	Raster	USGS melalui www.earthexplorer.usgs.nasa.gov	Olah Citra
	Batas Administrasi Metropolitan Surakarta	Sekunder	2023	Spasial	Badan Informasi Geospasial	Olah Peta
Analisis Penentuan Prioritas Pengembangan Ruang Terbuka Hijau (RTH)	Kelembaban Relatif	Sekunder	2024	Numerik	BMKG melalui https://dataonline.bmkg.go.id	Olah Peta
	Jumlah Penduduk Metropolitan Surakarta	Sekunder	2024	Numerik	Badan Pusat Statistik melalui https://surakartakota.bps.go.id https://sukoharjo.bps.go.id https://karanganyar.bps.go.id https://boyolalikab.bps.go.id	Olah Peta
	Peta Kerapatan Vegetasi	Sekunder	2024	Spasial	Hasil Pengolahan	Olah Peta
	Peta Indeks Kenyamanan Termal	Sekunder	2024	Spasial	Hasil Pengolahan	Olah Peta
	Peta Kepadatan Penduduk	Sekunder	2024	Spasial	Hasil Pengolahan	Olah Peta
Analisis Lokasi Potensial RTH dan Luasannya	Peta <i>Overlay</i> Penentuan Prioritas Pengembangan RTH	Sekunder	2025	Spasial	Hasil Pengolahan	Olah Peta
	Peta Tutupan Lahan	Sekunder	2020	Spasial	Website https://storage.googleapis.com/earthenginepartners-hansen/GLCLU2000-2020/v2/download.html	Olah Peta

Sumber: Penulis, 2025

Tabel berikut menyajikan spesifikasi citra Landsat yang digunakan dalam analisis UHI di Metropolitan Surakarta.

Tabel 1.2. Spesifikasi Citra Landsat yang Digunakan

Tahun	Jenis Citra	Persentase Awan	Waktu Perekaman	
			Tanggal, Bulan	Jam
2002	Landsat 7 (SLC-ON)	4	27 Juni 02	09.30.09
2009	Landsat 7 (SLC-OFF)	0	14 Juni 09	09.32.09
2014	Landsat 8	5,18	23 Agu 14	09.41.45
2019	Landsat 8	3,52	21 Agu 19	09.41.50
2024	Landsat 8	1,26	18 Agu 24	09.41.24

Sumber: USGS Earth Explore, 2025 (diunduh)

Pemilihan waktu perekaman citra pada penelitian ini dilakukan pada bulan Juni dan Agustus sesuai ketersediaan citra dengan tutupan awan rendah. Berdasarkan data *Weatherspark* tahun 1980 - 2016, secara klimatologis Kota Surakarta mengalami musim kemarau pada periode April hingga September, dengan puncak kemarau umumnya terjadi pada Agustus. Oleh karena itu, citra tahun 2002 dan 2009 yang direkam pada bulan Juni mewakili mendekati puncak musim kemarau, sedangkan citra tahun 2014, 2019, dan 2024 yang direkam pada bulan Agustus mewakili puncak musim kemarau. Pemilihan periode musim kemarau ini bertujuan menjaga konsistensi temporal dalam analisis multitemporal UHI, sehingga hasil perbandingan antar tahun lebih representatif dan tidak dipengaruhi oleh perbedaan musim.

1.6.2. Instrumen Pengumpulan Data

Instrumen pengumpulan data adalah alat atau metode yang digunakan untuk mengumpulkan informasi yang relevan dan akurat dalam suatu penelitian atau kajian. Berfungsi sebagai media untuk mendapatkan data dari sumber yang ditentukan, instrumen ini dapat berbentuk kuesioner, wawancara, observasi, atau pengukuran, tergantung pada keperluan penelitian.

Dalam penelitian ini pengumpulan data-data dilakukan secara sekunder. Metode ini dilakukan dengan mengakses informasi yang telah tersedia sebelumnya melalui situs *website* pada masing-masing penyedia data yang dibutuhkan oleh peneliti. Selain itu, dilakukan permohonan data ke instansi untuk memperoleh keterbaruan data yang diperlukan.

1.6.3. Teknik Analisis

A. Identifikasi Distribusi Spasial *Urban Heat Island (UHI)* di Metropolitan Surakarta

Widyanti et al. (2025) menjelaskan bahwa untuk menganalisis suhu permukaan, data citra termal harus dikonversi terlebih dahulu. Proses ini melibatkan penggunaan band 6 pada citra Landsat 7, atau band 10 dan band 11 pada Landsat 8. Langkah konversi dimulai dari nilai piksel data citra yang dikenal sebagai *Digital Number (DN)*. Selanjutnya, DN diubah menjadi *Land Surface Temperature (LST)* melalui dua langkah: pertama, DN dikonversi menjadi *Spectral Radiance (L_λ)*, dan kedua, *Spectral Radiance (L_λ)* dikonversi menjadi *Brightness Temperature (T)*.

a) *Top of Atmosphere (ToA)*

ToA Reflectance mengukur kecerahan objek dari luar atmosfer bumi untuk mengoreksi data citra satelit dari gangguan atmosfer. Pengukuran ini juga menjadi dasar perhitungan *Brightness Temperature (BT)*, yang kemudian digunakan untuk menentukan *Land Surface Temperature (LST)*. Meskipun begitu, ada sedikit perbedaan dalam cara mengolah *Digital Number (DN)* antara Landsat 7 ETM+ dengan Landsat 8 dan 9 OLI-TIRS, terutama pada persamaan matematis yang digunakan. Untuk Landsat-7 ETM+, nilai piksel DN diubah menjadi *Spectral Radiance (L_λ)* dengan membandingkan selisih panjang gelombang terhadap nilai DN maksimum dan minimum, seperti yang dijelaskan dalam persamaan berikut (Widyanti et al., 2025):

Tabel 1.3. Perhitungan ToA pada Landsat 7 dan 8

Landsat 7		Landsat 8
$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{max\lambda} - L_{min\lambda}}{Q_{cal_{max}} - Q_{cal_{min}}} \right) \times (Q_{cal} - Q_{cal_{min}}) + L_{min\lambda}$		$L_{\lambda} = M_L \times Q_{cal} + A_L$
Keterangan		
L_{λ}	:	Radian spektral pada ToA
M_L	:	Faktor skala radian multiband
A_L	:	Offset radian / faktor penambah multiband
Q_{cal} atau DN	:	Nilai piksel (DN) yang diperoleh dari citra satelit

b) *Brightness Temperature (BT)*

Brightness Temperature (BT) mengacu pada suhu yang terukur dari band termal sensor satelit, yang merepresentasikan energi panas yang dipancarkan oleh permukaan bumi. BT ini merupakan parameter kunci dalam analisis *Urban Heat Island* (UHI), dan perhitungannya didasarkan pada persamaan berikut (Widyanti et al., 2025).

Tabel 1.4. Perhitungan BT pada Landsat 7 dan 8

Landsat 7	Landsat 8
$BT = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} - 273,15$	$T_n = \frac{T_{10} + T_{11}}{2}$

Keterangan

L_λ : Radiance spektral pada ToA

K_1 dan K_2 : Konstanta termal

c) *Normalize Difference Vegetation Index (NDVI)*

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) adalah variabel yang umum dan efektif digunakan dalam analisis kepadatan vegetasi untuk mengukur kepadatan serta tingkat kehijauan tumbuhan di suatu wilayah (Widyanti et al., 2025). Indeks ini memiliki peran penting dalam analisis UHI karena mampu memberikan gambaran mengenai distribusi serta kondisi vegetasi di area tertentu. Rumus NDVI dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

Keterangan

NDVI : *Normalized Difference Vegetation Index*

NIR : Sinar inframerah dekat (Band 5 Landsat 8) (Band 4 Landsat 7)

RED : Sinar merah (Band 4 Landsat 8) (Band 3 Landsat 7)

d) *Proportion of Vegetation (PV)* dan *Land Surface Emissivity (LSE)*

Land Surface Emissivity (LSE) memiliki peran penting dalam memperoleh nilai suhu permukaan lahan (LST) yang lebih akurat. LSE menunjukkan sejauh mana suatu permukaan mampu memancarkan energi panas, dengan nilai yang berbeda sesuai jenis material serta karakteristik

permukaannya. Dalam analisis UHI, LSE digunakan untuk mengidentifikasi area yang memancarkan panas lebih tinggi. Pada kawasan perkotaan, nilai LSE yang rendah dapat menyebabkan pelepasan energi termal lebih sedikit dari perkiraan, sehingga memengaruhi hasil deteksi suhu. Perhitungan LSE dilakukan setelah menentukan *Proportion of Vegetation* (PV). Menurut (Widyanti et al., 2025), LSE dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$PV = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2$$

$$E = 0,004 \times PV + 0.986$$

Keterangan

- PV* : *Proportion of Vegetation*
NDVI : *DN values from DN image*
NDVI_{max} : Nilai NDVI tertinggi
NDVI_{min} : Nilai NDVI terkecil
E : *Land Surface Emissivity* / Emisivitas Permukaan
0,986 : Nilai emisivitas standar lahan terbuka
0.004 : Nilai rata-rata emisivitas vegetasi yang berkategori rapat

e) *Land Surface Temperature (LST)*

Land Surface Temperature (LST) merupakan ukuran panas yang dipancarkan oleh permukaan bumi dan menjadi indikator penting dalam berbagai kajian lingkungan, termasuk analisis *Urban Heat Island* (UHI). Nilai LST dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti jenis tutupan lahan (misalnya hutan, lahan pertanian, atau kawasan terbangun), kelembaban tanah, serta material permukaan. Permukaan gelap dan kering seperti aspal dan beton di wilayah perkotaan cenderung menyerap sekaligus memancarkan panas lebih besar, sehingga suhu di area tersebut umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan daerah pedesaan. Persamaan perhitungan LST ditunjukkan sebagai berikut (Christy Novianti et al., 2024).

$$LST = \left(\frac{BT}{(1 + \left(\lambda \frac{BT}{C_2} \right)^* E)} \right)$$

Keterangan

- BT : *Top of Atmosphere brightness temperature (C)*
 λ : Panjang gelombang emisi radian
 E : *Land Surface Emissivity*
 C_2 : 14388 mK

f) Urban Heat Island Intensity (UHII)

Pengukuran intensitas UHI dilakukan dengan membandingkan suhu wilayah urban dengan sub-urban. Sebelum itu, nilai UHI diperoleh dari hasil perhitungan analisis sebelumnya, yakni nilai rerata dari LST. Persamaan yang digunakan merupakan modifikasi persamaan Rajasekar & Weng (2009) dan Ma et al. (2010) pernyataan Fawzi & Jatmiko (2015) sebagai berikut.

Nilai Ambang Batas UHI menurut Ma et al. (2010).

$$\begin{aligned} T &> \mu + 0,5 \times \alpha && \text{untuk area yang terjadi UHI} \\ 0 < T &\leq \mu + 0,5 \times \alpha && \text{untuk area yang tidak terjadi UHI} \\ UHII &= T_{mean} - \text{Ambang Batas UHI} \\ UHII &= T_{mean} - (\mu + 0,5 * \alpha) \end{aligned}$$

Keterangan

- UHI_{index} : *Urban Heat Island*
 T_{mean} : Nilai tengah dari kelas *Land Surface Temperature*
 μ : Nilai rerata LST (°C)
 α : Nilai standar deviasi LST (°C)
 $LST > \text{Ambang Batas UHI}$: Terdampak UHI
 $LST \leq \text{Ambang Batas UHI}$: Tidak terdampak UHI

Tabel 1.5. Klasifikasi UHII

No	Intensitas <i>Heat Island</i>	Level	UHII range
1	Sangat rendah	1	$UHII \leq 1^\circ\text{C}$
2	Rendah	2	$1^\circ\text{C} < UHII \leq 2^\circ\text{C}$
3	Sedang	3	$2^\circ\text{C} < UHII \leq 3^\circ\text{C}$
4	Tinggi	4	$3^\circ\text{C} < UHII \leq 4^\circ\text{C}$
5	Sangat tinggi	5	$UHII > 4^\circ\text{C}$

Sumber: Deng et al. (2022)

B. Analisis Penentuan Prioritas Pengembangan RTH sebagai Upaya Mitigasi terhadap Fenomena *Urban Heat Island*

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui area prioritas pengembangan RTH di Metropolitan Surakarta berdasarkan hasil *overlay* pada ketiga variabel penentu yang telah dilakukan sebelumnya. Adapun tahapan analisis prioritas pengembangan RTH diperjelas melalui tabel berikut ini.

Tabel 1.6. Teknik Analisis Prioritas Pengembangan RTH

No	Sasaran	Input	Teknik Analisis	Ouput
1	Identifikasi Distribusi Spasial UHI	Citra Landsat 7 tahun 2002 dan 2009; Citra Landsat 8 tahun 2014, 2019, dan 2024	Algoritma UHI	Pola distribusi UHI tahun 2002 - 2024
2	Analisis Penentuan Prioritas Pengembangan Ruang Terbuka Hijau (RTH)	Suhu Permukaan (LST) tahun 2024	<i>Overlay</i>	Peta THI tahun 2024
		Kelembaban Relatif tahun 2024		
		Jumlah Penduduk tahun 2024	Perhitungan Kepadatan Penduduk	Peta Kepadatan Penduduk tahun 2024
		Peta NDVI tahun 2024	<i>Overlay</i>	Penentuan Area Prioritas Pengembangan RTH
		Peta THI tahun 2024		
		Peta Kepadatan Penduduk tahun 2024		
		Peta Tutupan Lahan tahun 2020	<i>Overlay</i>	Peta Lokasi Potensial sebagai Area Prioritas Pengembangan RTH
		Peta Penentuan Area Prioritas Pengembangan RTH		
3	Analisis Lokasi Potensial RTH dan Luasannya	Peta Lokasi Potensial sebagai Area Prioritas Pengembangan RTH	Interpretasi	Area Rekomendasi Pengembangan RTH dan Tabel Luasan

Sumber: Penulis, 2025

a) *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*

Analisis kerapatan vegetasi dilakukan dengan bantuan formula NDVI dengan memanfaatkan kanal RED dan kanal NIR Humaida (2016)

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

Keterangan

NDVI : *Normalized Difference Vegetation Index*

NIR : Sinar inframerah dekat (Band 5 Landsat 8)
(Band 4 Landsat 7)

RED : Sinar merah (Band 4 Landsat 8) (Band 3
Landsat 7)

NDVI mempunyai rentang nilai -1 sampai +1, jika mendekati 1 berarti wilayah tersebut memiliki vegetasi semakin rapat, sebaliknya bila mendekati -1 artinya vegetasi di wilayah tersebut semakin jarang. Kelas tingkat kerapatan rentang nilai NDVI dalam penelitian ini mengacu dari Baroroh & Pangi (2018) sebagaimana disajikan pada tabel berikut.

Tabel 1.7. Kelas Tingkat Kerapatan Vegetasi

No	Kelas NDVI	Keterangan
1.	$-1 < NDVI < 0,15$	Sangat Jarang
2.	$0,15 < NDVI < 0,25$	Jarang
3.	$0,25 < NDVI < 0,35$	Sedang
4.	$0,35 < NDVI < 0,45$	Rapat
5.	$0,45 < NDVI < 1$	Sangat Rapat

Sumber: Baroroh & Pangi (2018)

b) *Temperature Humidity Index (THI)*

Temperature Humidity Index merupakan indikator untuk mengukur tingkat kenyamanan dan kesehatan manusia. Nilai Indeks Kenyamanan didapatkan dari proses pengolahan parameter suhu permukaan lahan atau *Land Surface Temperature (LST)* yang digabungkan dengan nilai kelembaban relatif. Perhitungan suhu permukaan lahan menggunakan tahun 2024 yang sebelumnya telah dilakukan koreksi radian dan *Brightness Temperature (BT)*, kemudian digabung dengan nilai emisivitas yang didapatkan dari proses pengolahan data NDVI. Rumus indeks nyaman atau THI ini adalah sebagai berikut.

$$THI = (0,8 \times T) + \left(\frac{RH \times T}{500}\right)$$

Keterangan

T : Suhu udara

RH : Kelembaban relatif

Setiap wilayah memiliki iklim yang berbeda. Pengklasifikasian nilai THI untuk wilayah tropis terdiri dari tiga kelas, yaitu nilai $THI \leq 24^{\circ}C$ adalah kelas nyaman, nilai $THI 25^{\circ}C - 27^{\circ}C$ adalah kelas kurang nyaman, dan nilai $THI > 27^{\circ}C$ adalah kelas tidak nyaman (Humaida, 2016) Berikut ini tabel klasifikasi THI dapat dilihat berikut ini.

Tabel 1.8. Klasifikasi Temperature Humidity Index (THI)

No	Kelas THI	Keterangan
1.	$\leq 24^{\circ}C$	Nyaman
2.	$25^{\circ}C - 27^{\circ}C$	Kurang Nyaman
3.	$> 27^{\circ}C$	Tidak Nyaman

Sumber: Humaida (2016)

c) Kepadatan Penduduk

Kepadatan penduduk digunakan untuk menentukan lokasi RTH yang diprioritaskan. Menurut Norton et al. (2015), fenomena *Urban Heat Island* (UHI) lebih umum terjadi di daerah perkotaan yang memiliki populasi padat. Klasifikasi kepadatan penduduk dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1.9. Klasifikasi Kepadatan Penduduk

No	Kelas Kepadatan Penduduk	Keterangan
1.	Kepadatan penduduk kurang dari 500	Sangat Jarang
2.	Kepadatan penduduk antara 501 – 1.500	Jarang
3.	Kepadatan penduduk antara 1.501 – 2.500	Sedang
4.	Kepadatan penduduk antara 2.501 – 5.000	Padat
5.	Kepadatan penduduk lebih dari 5.000	Sangat Padat

Sumber: Humaida (2016)

Penentuan prioritas pengembangan RTH menggunakan teknik *overlay* untuk menggabungkan beberapa parameter dalam menentukan wilayah prioritas RTH. Peta NDVI, THI, dan kepadatan penduduk digunakan sebagai

data dalam melakukan overlay. Kriteria pembobotan *overlay* dalam penentuan zona prioritas RTH disajikan dalam Tabel berikut.

Tabel 1.10. Kriteria Pembobotan Penentuan Prioritas RTH

No	Variabel	Kriteria	Keterangan	Skor
1.	NDVI	-1 < NDVI < 0,15	Sangat Jarang	5
		0,15 < NDVI < 0,25	Jarang	4
		0,25 < NDVI < 0,35	Sedang	3
		0,35 < NDVI < 0,45	Rapat	2
		0,45 < NDVI < 1	Sangat Rapat	1
2.	THI	$\leq 24^{\circ}\text{C}$	Nyaman	1
		$25^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}$	Kurang Nyaman	3
		$\geq 27^{\circ}\text{C}$	Tidak Nyaman	5
3.	Kepadatan Penduduk	Kepadatan penduduk kurang dari 500	Sangat Jarang	1
		Kepadatan penduduk antara 501 – 1.500	Jarang	2
		Kepadatan penduduk antara 1.501 – 2.500	Sedang	3
		Kepadatan penduduk antara 2.501 – 5.000	Padat	4
		Kepadatan penduduk lebih dari 5.000	Sangat Padat	5

Sumber: Baroroh & Pangli (2018); Humaida (2016)

Langkah berikutnya dalam penelitian ini adalah menentukan area prioritas pengembangan Ruang Terbuka Hijau (RTH) di wilayah Metropolitan Surakarta. Penentuan dilakukan dengan membagi wilayah ke dalam lima kelas prioritas, di mana dua kelas teratas dikategorikan sebagai area prioritas pengembangan, sementara tiga kelas lainnya termasuk dalam kategori non prioritas, sesuai dengan pendekatan yang digunakan oleh Humaida (2016).

Penerapan interval masing-masing kelas dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$\text{Interval Kelas} = (\text{Skor}_{\max} - \text{Skor}_{\min}) / \text{Jumlah Kelas}$$

$$\text{Interval Kelas} = (15 - 3) / 5$$

$$\text{Interval Kelas} = 2,4$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, diperoleh rentang nilai untuk masing-masing kelas yang selanjutnya digunakan dalam proses klasifikasi area prioritas pengembangan RTH di Metropolitan Surakarta. Hasil klasifikasi tersebut disajikan dalam bentuk tabel untuk mempermudah interpretasi spasial.

Tabel 1.11. Kelas Klasifikasi Prioritas Pengembangan RTH

No	Skor	Klasifikasi
1	3 – 5,4	Non Prioritas
2	5,4 – 7,8	Non Prioritas
3	7,8 – 10,2	Non Prioritas
4	10,2 – 12,6	Prioritas Kedua
5	12,6 - 15	Prioritas Pertama

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Dalam penelitian ini, istilah “prioritas” digunakan untuk menunjukkan tingkat kebutuhan pengembangan Ruang Terbuka Hijau (RTH) berdasarkan kondisi eksisting wilayah. Penentuan prioritas diperoleh dari hasil *overlay* tiga variabel, yaitu NDVI, THI, dan kepadatan penduduk, yang masing-masing mewakili kondisi vegetasi, kenyamanan termal, dan tekanan penduduk terhadap lingkungan.

Wilayah dengan Prioritas 1 merupakan area dengan nilai NDVI rendah, THI tinggi, dan kepadatan penduduk tinggi, sehingga memiliki kebutuhan pengembangan RTH tertinggi. Sementara itu, Prioritas 2 menunjukkan wilayah dengan kondisi sedang pada ketiga parameter tersebut.

Dengan demikian, istilah “prioritas” dalam penelitian ini tidak menggambarkan urutan pelaksanaan pembangunan, melainkan tingkat urgensi kebutuhan RTH berdasarkan hasil analisis spasial dari ketiga variabel tersebut.

C. Rekomendasi Lokasi Potensial Pengembangan RTH di Metropolitan Surakarta

Tahapan ini bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat kebutuhan pengembangan Ruang Terbuka Hijau (RTH) di wilayah Metropolitan Surakarta berdasarkan hasil analisis spasial. Proses analisis dilakukan melalui metode *overlay* menggunakan tools *Weighted*

Sum pada perangkat lunak ArcMAP, dengan menggabungkan tiga variabel utama, yaitu NDVI, THI, dan kepadatan penduduk.

Hasil dari proses ini berupa peta kebutuhan prioritas pengembangan RTH, yang menampilkan distribusi spasial wilayah dengan tingkat kebutuhan pengembangan ruang hijau berbeda. Peta tersebut menunjukkan area dengan Prioritas 1 sebagai wilayah dengan kebutuhan RTH tertinggi, serta Prioritas 2 dengan tingkat kebutuhan sedang.

1.6.4. Hasil Akhir

Hasil akhir yang diharapkan dari tugas akhir berjudul “Analisis Prioritas Pengembangan Ruang Terbuka Hijau sebagai Upaya Mitigasi *Urban Heat Island* di Metropolitan Surakarta” adalah peta kebutuhan prioritas pengembangan RTH. Melalui analisis spasial temporal UHI, penelitian ini menunjukkan bahwa fenomena *Urban Heat Island* memang terjadi di wilayah Metropolitan Surakarta.

Sebagai langkah mitigasi, dilakukan analisis prioritas berdasarkan nilai NDVI, THI, dan kepadatan penduduk. NDVI menggambarkan kerapatan vegetasi yang berkaitan dengan penurunan suhu permukaan, sedangkan THI menunjukkan tingkat kenyamanan termal, dan kepadatan penduduk menjadi indikator tingkat tekanan aktivitas manusia yang dapat memperparah fenomena UHI. Hasil akhir diharapkan dapat menjadi dasar pertimbangan bagi pemerintah dan pengembang dalam perencanaan ruang untuk meningkatkan ketersediaan RTH sebagai strategi mitigasi UHI di Metropolitan Surakarta.