

Analisis Kerentanan Ekologis Perkotaan Terhadap *Urban Heat Island* Berdasarkan Pendekatan Tata Ruang Hijau dan Pola Perkembangan Lahan (Studi Kasus: Kota Yogyakarta)

Taufan Kharis dan Edi Istiyono*

Magister Ilmu Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia;
e-mail: edi.istiyono@uny.ac.id

ABSTRAK

Kota Yogyakarta mengalami tekanan urbanisasi yang ditandai dengan meningkatnya luas area terbangun serta menurunnya proporsi ruang terbuka hijau, sehingga berpotensi meningkatkan fenomena *Urban Heat Island* (UHI) dan kerentanan ekologis perkotaan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kerentanan ekologis kawasan perkotaan terhadap fenomena *Urban Heat Island* (UHI) berdasarkan integrasi tata ruang hijau dan pola perkembangan lahan di Kota Yogyakarta. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif spasial dengan data multispektral citra satelit Landsat 8 OLI/TIRS periode 2020, 2023 dan 2025. Analisis dilakukan menggunakan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI), dan *Land Surface Temperature* (LST) untuk mengidentifikasi intensitas UHI, kemudian disusun menjadi Indeks Kerentanan Ekologis (IEK) menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Hasil penelitian menunjukkan bahwa intensitas UHI meningkat dari 2,3°C pada tahun 2020 menjadi 3,7°C pada tahun 2025, disertai penurunan nilai NDVI dari 0,45 menjadi 0,33 dan peningkatan nilai NDBI dari 0,12 menjadi 0,21. Zona kerentanan ekologis tertinggi terkonsentrasi pada kawasan komersial dan kawasan dengan kepadatan bangunan tinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa penurunan tutupan vegetasi dan peningkatan area terbangun berkontribusi terhadap peningkatan suhu permukaan, sehingga penguatan ruang terbuka hijau menjadi strategi penting dalam mitigasi UHI dan penyusunan kebijakan penataan ruang yang berkelanjutan.

Kata kunci: Urban Heat Island, kerentanan ekologis, NDVI, NDBI, tata ruang hijau

ABSTRACT

Yogyakarta City is experiencing increasing urbanization pressure, characterized by the expansion of built-up areas and the decline of green open spaces, which has the potential to intensify the Urban Heat Island (UHI) phenomenon and increase urban ecological vulnerability. This study aims to analyze the ecological vulnerability of urban areas to the Urban Heat Island (UHI) phenomenon through the integration of green spatial planning and land development patterns in Yogyakarta City. A quantitative spatial approach was employed using multispectral Landsat 8 OLI/TIRS satellite imagery acquired during the 2020, 2023 and 2025 period. The analysis utilized the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Built-up Index (NDBI), and Land Surface Temperature (LST) to assess UHI intensity, which were subsequently integrated into the Ecological Vulnerability Index (EVI) using the Analytical Hierarchy Process (AHP). The results indicate that UHI intensity increased from 2.3°C in 2020 to 3.7°C in 2025, accompanied by a decline in NDVI values from 0.45 to 0.33 and an increase in NDBI values from 0.12 to 0.21. The highest ecological vulnerability was concentrated in commercial districts and densely built-up urban areas. These findings demonstrate that the reduction in vegetation cover and the expansion of built-up land contribute significantly to increasing land surface temperatures. Therefore, strengthening green open spaces is a key strategy for mitigating the Urban Heat Island effect and supporting sustainable spatial planning policies.

Keywords: Urban Heat Island, ecological vulnerability, NDVI, NDBI, green spatial planning

Citation: Kharis, T. dan Istiyono, E. (2026). Analisis Kerentanan Ekologis Perkotaan Terhadap Urban Heat Island Berdasarkan Pendekatan Tata Ruang Hijau dan Pola Perkembangan Lahan (Studi Kasus: Kota Yogyakarta). Jurnal Ilmu Lingkungan, 24(4), 879-890, doi:10.14710/jil.24.4.879-890

1. PENDAHULUAN

Fenomena peningkatan suhu di kawasan perkotaan kini menjadi isu lingkungan yang menonjol di berbagai belahan dunia. Urbanisasi yang

berlangsung tanpa kendali telah mengubah keseimbangan ekologis kota, terutama melalui konversi ruang hijau menjadi kawasan terbangun dengan tingkat kepadatan bangunan yang tinggi.

Transformasi ini menimbulkan ketidakseimbangan antara sistem alami dan sistem buatan, sehingga menurunkan kemampuan lingkungan dalam mengatur sirkulasi udara dan menahan panas permukaan. Salah satu dampak paling nyata dari perubahan tersebut adalah terbentuknya *Urban Heat Island* (UHI), yaitu kondisi meningkatnya suhu udara maupun suhu permukaan di wilayah perkotaan dibandingkan kawasan vegetatif di sekitarnya (Dahlan, 2022).

Fenomena *Urban Heat Island* (UHI) berdampak luas terhadap kualitas lingkungan dan kehidupan masyarakat perkotaan. Secara spasial, peningkatan suhu permukaan umumnya terkonsentrasi pada kawasan pusat kota, koridor perdagangan, kawasan industri, dan permukiman dengan kepadatan bangunan tinggi, sedangkan wilayah yang masih memiliki tutupan vegetasi dan ruang terbuka hijau cenderung menunjukkan suhu yang lebih rendah (Asmara & Purbokusumo, 2022). Perbedaan distribusi suhu tersebut menyebabkan penurunan kenyamanan termal, memburuknya kualitas udara, meningkatnya kebutuhan energi untuk pendinginan bangunan, serta bertambahnya risiko gangguan kesehatan akibat paparan panas, terutama pada kawasan dengan dominasi permukaan kedap air (Kusyuniadi & Buchori, 2020).

Secara global, berbagai studi di kota besar seperti Jakarta, Surabaya, dan Yogyakarta menunjukkan adanya korelasi kuat antara kepadatan bangunan, rendahnya rasio ruang hijau, dan peningkatan suhu permukaan. Namun, di negara berkembang seperti Indonesia, fenomena ini memiliki karakteristik tersendiri karena urbanisasi sering kali berlangsung tanpa perencanaan ekologis yang matang. Salah satu contoh nyata dapat diamati di Kota Yogyakarta, yang memiliki kepadatan penduduk lebih dari 12.000 jiwa/km² pada beberapa kawasan serta mengalami peningkatan area terbangun dari sekitar 45% pada tahun 2020 menjadi sekitar 52% pada tahun 2025. Pada periode yang sama, nilai rata-rata NDVI menurun dari 0,45 menjadi 0,33, yang menunjukkan berkurangnya tutupan vegetasi akibat konversi lahan menjadi kawasan terbangun. Perubahan spasial tersebut mengindikasikan bahwa perkembangan wilayah perkotaan di Yogyakarta berlangsung secara intensif dan berpotensi meningkatkan fenomena *Urban Heat Island* (UHI) (Rosit & Aisiyah, 2024).

Perubahan fungsi lahan dari area pertanian dan ruang terbuka hijau menjadi kawasan permukiman, komersial, serta infrastruktur transportasi telah mengubah struktur ekologis kawasan perkotaan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa peningkatan area terbangun diikuti oleh penurunan tutupan vegetasi yang berdampak pada kenaikan suhu permukaan. Di Kota Yogyakarta, kawasan dengan intensitas pemanfaatan ruang yang tinggi memiliki suhu permukaan lebih tinggi dibandingkan kawasan yang masih didominasi vegetasi, sehingga mengindikasikan keterkaitan antara perubahan penggunaan lahan dan pembentukan *Urban Heat*

Island (Atianta, 2020). Temuan serupa juga menunjukkan bahwa penurunan nilai *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) berkorelasi negatif dengan suhu permukaan (*Land Surface Temperature*/LST), sedangkan peningkatan *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI) berkorelasi positif terhadap peningkatan suhu, yang mencerminkan semakin tingginya kerentanan ekologis kawasan perkotaan akibat ekspansi lahan terbangun (Alwan et al., 2024). Kondisi tersebut menjadi tantangan dalam menjaga keberlanjutan lingkungan perkotaan serta keseimbangan iklim mikro. Oleh karena itu, Ruang Terbuka Hijau (RTH) memiliki peran penting sebagai penyeimbang ekosistem melalui fungsi penyerap panas, pengatur suhu mikro, penyerap karbon, dan penopang biodiversitas sehingga menjadi salah satu instrumen utama dalam mitigasi dampak *Urban Heat Island* (Hayuningtyas & Nursadi, 2024).

Pada realitas di lapangan menunjukkan bahwa proporsi RTH di banyak kota di Indonesia, termasuk Yogyakarta, masih jauh dari ideal. Alih fungsi lahan, tekanan ekonomi, dan lemahnya penegakan kebijakan tata ruang menyebabkan pengelolaan ruang hijau sering kali bersifat simbolis, bukan fungsional (Suci et al., 2024). Hal ini memperburuk kondisi termal kota dan menurunkan kemampuan ekologis lingkungan dalam menahan dampak panas.

Kesenjangan antara perencanaan dan implementasi kebijakan Ruang Terbuka Hijau (RTH) berdampak pada menurunnya kapasitas ekologis kawasan perkotaan dalam meredam peningkatan suhu permukaan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa berkurangnya tutupan vegetasi dan meningkatnya area terbangun menyebabkan intensitas *Urban Heat Island* (UHI) semakin tinggi, yang ditandai dengan meningkatnya suhu permukaan pada kawasan padat bangunan dibandingkan kawasan bervegetasi (Maharjan et al., 2021). Kondisi tersebut mengakibatkan penurunan kenyamanan termal, peningkatan kebutuhan energi untuk pendinginan bangunan, serta meningkatnya risiko gangguan kesehatan akibat paparan suhu tinggi (Schwaab et al., 2021). Oleh karena itu, penanganan UHI tidak dapat hanya bergantung pada kebijakan teknis, tetapi memerlukan implementasi tata ruang hijau yang konsisten dan berorientasi pada keberlanjutan lingkungan.

Berbagai penelitian terdahulu telah mengkaji hubungan antara ruang hijau dan suhu permukaan menggunakan pendekatan penginderaan jauh melalui *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan *Land Surface Temperature* (LST). Penelitian (Asmara & Purbokusumo, 2022) menunjukkan bahwa peningkatan tutupan vegetasi berkorelasi negatif dengan suhu permukaan, sehingga ruang hijau berperan dalam menekan intensitas *Urban Heat Island* (UHI). Penelitian lain juga memanfaatkan analisis NDVI, NDBI, dan LST untuk mengidentifikasi distribusi spasial UHI di berbagai wilayah perkotaan (Alwan et al., 2024). Namun, sebagian besar penelitian

tersebut masih berfokus pada analisis hubungan antarvariabel secara parsial, seperti hubungan NDVI-LST atau identifikasi pola spasial UHI, sehingga belum mengintegrasikan perubahan tata ruang hijau, perkembangan lahan terbangun, dan penilaian kerentanan ekologis dalam satu kerangka analisis yang komprehensif. Akibatnya, informasi mengenai wilayah yang memiliki tingkat kerentanan ekologis tinggi terhadap UHI masih terbatas dan belum dapat dimanfaatkan secara optimal sebagai dasar penyusunan kebijakan penataan ruang yang adaptif. Oleh karena itu, penelitian ini mengintegrasikan indikator NDVI, NDBI, LST, dan *Urban Heat Island* (UHI) ke dalam Indeks Kerentanan Ekologis (IEK) menggunakan pendekatan Analytical Hierarchy Process (AHP), sehingga tidak hanya menggambarkan pola sebaran UHI, tetapi juga mengidentifikasi tingkat kerentanan ekologis kawasan perkotaan sebagai dasar perencanaan ruang yang lebih berkelanjutan.

Keterbatasan tersebut menciptakan kesenjangan ilmiah yang penting untuk diisi melalui analisis yang lebih komprehensif dan terintegrasi. Pendekatan spasial-ekologis memungkinkan pemetaan wilayah dengan tingkat kerentanan tinggi terhadap UHI, sekaligus membantu mengidentifikasi determinan ekologis yang paling berpengaruh.

Kota Yogyakarta dipilih sebagai lokasi penelitian karena menghadapi tekanan urbanisasi yang tinggi. Secara geografis, kota ini berada pada koordinat $7^{\circ}48'$ LS dan $110^{\circ}22'$ BT dengan luas wilayah sekitar $32,5 \text{ km}^2$ (Iqbal et al., 2020). Dengan jumlah penduduk sekitar 400.000 jiwa dan kepadatan mencapai lebih dari 12.000 jiwa/ km^2 pada beberapa kawasan, Kota Yogyakarta termasuk salah satu kota dengan tingkat kepadatan penduduk yang tinggi di Indonesia. Kondisi tersebut mendorong peningkatan kebutuhan lahan untuk permukiman, perdagangan, jasa, pendidikan, pariwisata, dan infrastruktur sehingga mengurangi proporsi ruang terbuka hijau. Penelitian Atianta (2020) menunjukkan bahwa peningkatan intensitas pemanfaatan ruang di Kota Yogyakarta diikuti oleh peningkatan suhu permukaan, terutama pada kawasan yang didominasi lahan terbangun. Kondisi ini menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan telah menjadi permasalahan lingkungan yang penting karena berpotensi memperkuat fenomena Urban Heat Island (UHI) dan menurunkan kualitas ekologis kawasan perkotaan.

Secara fisik, wilayah ini didominasi dataran rendah dengan suhu harian berkisar $24-30^{\circ}\text{C}$ yang dapat mencapai 37°C pada periode tertentu (Giofandi, 2020). Curah hujan tahunan mencapai 2.500 mm, sementara keberadaan Sungai Code dan Gajah Wong turut memengaruhi dinamika sirkulasi udara perkotaan (Nahak et al., 2024). Dalam dua dekade terakhir, tekanan urbanisasi semakin besar, ditandai dengan pengurangan ruang terbuka hijau dan meningkatnya area terbangun (Asmara & Purbokusumo, 2022). Kondisi ini memicu peningkatan suhu permukaan dan memperkuat

fenomena UHI, terutama di kawasan padat bangunan (Atianta, 2020).

Berbagai kondisi tersebut, seperti meningkatnya kepadatan kawasan terbangun, berkurangnya proporsi ruang terbuka hijau, serta meningkatnya suhu permukaan di kawasan perkotaan, menunjukkan adanya perubahan keseimbangan fungsi ekologis Kota Yogyakarta. Kondisi tersebut mengindikasikan perlunya kajian ilmiah yang mengintegrasikan tata ruang hijau dan pola perkembangan lahan untuk mengidentifikasi tingkat kerentanan ekologis terhadap fenomena Urban Heat Island (UHI). Hasil kajian ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam penyusunan kebijakan penataan ruang yang berkelanjutan, adaptif terhadap perubahan iklim perkotaan, serta mendukung upaya mitigasi UHI.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis analisis spasial dan ekologis. Pendekatan ini dipilih karena fenomena *Urban Heat Island* (UHI) merupakan proses ekologis yang bersifat spasial—berkaitan langsung dengan distribusi permukaan lahan, tata ruang hijau, dan struktur perkotaan. Melalui pendekatan ini, penelitian berupaya mengukur, memetakan, serta menganalisis tingkat kerentanan ekologis wilayah perkotaan terhadap UHI dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis (SIG) (Rasul et al., 2020).

Secara konseptual, penelitian ini memandang bahwa kerentanan ekologis perkotaan terhadap UHI merupakan kondisi yang menggambarkan sejauh mana sistem ekologis kota Jogja (meliputi vegetasi, morfologi lahan, dan permukaan buatan) tidak mampu menahan peningkatan suhu akibat urbanisasi dan penurunan ruang hijau. Oleh karena itu, penelitian ini menggabungkan dimensi ekologi perkotaan, pola ruang, dan karakteristik fisik permukaan kota dalam satu analisis spasial terpadu.

2.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY), Indonesia. Secara geografis, Kota Yogyakarta terletak pada koordinat $7^{\circ}47'$ Lintang Selatan dan $110^{\circ}22'$ Bujur Timur dengan luas wilayah sekitar $32,5 \text{ km}^2$ yang terbagi ke dalam 14 kecamatan. Kota ini dipilih karena memiliki karakteristik urban yang kompleks, tingkat kepadatan penduduk mencapai lebih dari 12.000 jiwa/ km^2 , serta proporsi Ruang Terbuka Hijau (RTH) yang hanya sekitar 20% atau $\pm 6,5 \text{ km}^2$ dari luas wilayah kota, sehingga masih berada di bawah target minimal 30% sebagaimana diamanatkan dalam kebijakan penataan ruang. Kondisi tersebut menunjukkan adanya tekanan urbanisasi yang berpotensi meningkatkan fenomena Urban Heat Island (UHI).

Selain itu, Kota Yogyakarta dipilih karena berdasarkan berbagai kajian sebelumnya menunjukkan kecenderungan peningkatan suhu permukaan pada kawasan terbangun dibandingkan kawasan yang masih didominasi vegetasi (Atianta, 2020) Kondisi tersebut menjadi salah satu alasan pemilihan Kota Yogyakarta sebagai lokasi penelitian mengenai fenomena Urban Heat Island (UHI).

Waktu penelitian dilaksanakan selama tahun 2025, sementara data spasial yang digunakan mencakup tahun 2020, 2023 dan 2025 untuk menelusuri dinamika perubahan lahan dan ruang hijau dalam kurun waktu lima tahun

2.3. Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari dua jenis sumber, yaitu data primer dan data sekunder.

1. Data primer diperoleh melalui observasi lapangan berupa pengukuran suhu udara menggunakan thermo-hygrometer digital, dokumentasi kondisi vegetasi, dan pencatatan titik koordinat menggunakan GPS. Data tersebut digunakan sebagai data pendukung untuk validasi hasil analisis Land Surface Temperature (LST) dan klasifikasi tutupan lahan dari citra Landsat 8 OLI/TIRS (Duan et al., 2021).
2. Data Sekunder diperoleh dari berbagai instansi resmi, di antaranya:
 - a. Citra satelit Landsat.
 - b. Peta Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Yogyakarta dari Bappeda DIY.
 - c. Data suhu udara dan kelembapan dari BMKG Stasiun Klimatologi Yogyakarta.
 - d. Data kepadatan penduduk dari BPS Kota Yogyakarta (2025).

Berbagai data tersebut diolah secara spasial untuk memperoleh informasi mengenai suhu permukaan, tutupan vegetasi, dan perubahan penggunaan lahan.

2.4. Variabel dan Indikator Penelitian

Penelitian ini melibatkan enam variabel utama:

1. *Urban Heat Island* (UHI) merupakan variabel dependen utama, dihitung dari perbedaan suhu antara area urban dan non-urban.
2. Suhu Permukaan (LST) sebagai basis perhitungan UHI yang diturunkan dari citra satelit termal.
3. Tata Ruang Hijau (NDVI) menggambarkan tingkat kehijauan vegetasi dan kepadatan tutupan lahan.
4. Pola Perkembangan Lahan (LULC) menjelaskan perubahan luas dan distribusi area terbangun serta ruang hijau.
5. Kepadatan Bangunan (NDBI) mencerminkan struktur morfologi dan intensitas pembangunan kota.
6. Indeks Kerentanan Ekologis (IEK), yaitu indeks komposit yang menggabungkan NDVI, NDBI, LST, dan UHI untuk menilai tingkat kerentanan ekologis terhadap Urban Heat Island (UHI),

sehingga memberikan penilaian yang lebih komprehensif (Dossou et al., 2021).

Setiap variabel memiliki indikator dan satuan tertentu, seperti dijelaskan pada Tabel 1 hingga 3.

Tabel 1. Kriteria NDVI (Rahaman et al., 2020)

Rentang NDVI	Kategori Vegetasi
0.80 – 1.00	Vegetasi sangat tinggi
0.60 – 0.79	Vegetasi tinggi
0.40 – 0.59	Vegetasi sedang
0.20 – 0.39	Vegetasi rendah
0.00 – 0.19	Vegetasi sangat rendah
< 0.00	Non-vegetatif

Tabel 2. Kriteria NDBI (Maharjan et al., 2021)

Rentang NDBI	Kategori
> 0.00	Area terbangun
< 0.00	Area tidak terbangun

Tabel 3. Kriteria LST (°C) (Schwaab et al., 2021)

Rentang LST	Kategori Suhu
> 35°C	Suhu tinggi
25 – 35°C	Suhu sedang
< 25°C	Suhu rendah

Tabel 3. Kriteria UHI (Vergara et al., 2023)

Rentang LST	Kategori Suhu
> 35°C	Suhu tinggi
25 – 35°C	Suhu sedang
< 25°C	Suhu rendah

2.5. Teknik Pengumpulan Data

1) Penginderaan Jauh (*Remote Sensing*)

Tahap pertama adalah pengumpulan dan pengolahan citra satelit menggunakan citra satelit Landsat 8 OLI/TIRS dengan resolusi spasial 30 meter serta kanal termal (Band 10) untuk analisis suhu permukaan (LST) (Çetin & Doygun, 2024).

Langkah-langkahnya meliputi:

- a. *Radiometric correction* dan *atmospheric correction* untuk menghilangkan pengaruh awan dan distorsi.
- b. Pemotongan wilayah (*cropping*) sesuai batas administratif Kota Yogyakarta.
- c. Pembuatan *band composite* untuk menggabungkan kanal inframerah dekat (NIR), merah (RED), dan termal.
- d. Perhitungan indeks NDVI, NDBI, dan LST.

2) Analisis Tata Ruang (*Spatial Mapping*)

Penelitian ini menggunakan Peta RTRW Kota Yogyakarta tahun 2010–2029 sebagai acuan terbaru yang masih berlaku hingga 2025.

Dokumen ini membantu mengidentifikasi pola rencana ruang serta sebaran RTH yang direncanakan. Data RTRW tersebut kemudian dioverlay dengan hasil analisis citra satelit untuk melihat sejauh mana rencana tata ruang selaras dengan kondisi aktual di lapangan (Wardani et al., 2020).

3) Observasi Lapangan (*Ground Check*)

Observasi dilakukan pada beberapa titik yang mewakili zona berbeda. Selain mengukur suhu mikro, tingkat kepadatan vegetasi di setiap titik juga dihitung

dengan menilai tutupan vegetasi pada seluruh strata mulai dari permukaan tanah, semak, hingga kanopi pohon. Data ini dipadukan dengan peta dan hasil citra satelit untuk memastikan akurasi kondisi vegetasi dan penggunaan lahannya.

2.6. Teknik Analisis Data

2.6.1. Analisis NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)

Indeks NDVI digunakan untuk menilai tingkat kerapatan vegetasi. Nilainya diperoleh dari kombinasi kanal inframerah dekat (NIR) dan kanal merah (RED). Rumus NDVI ditulis (Demara et al., 2025):

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

Indeks ini menghasilkan nilai antara -1 hingga +1, di mana:

0.60 – 1.00 → Vegetasi lebat

0.30 – 0.59 → Vegetasi sedang

0.00 – 0.29 → Vegetasi jarang

< 0.00 → Area non-vegetatif (bangunan/air)

Nilai NDVI yang tinggi menunjukkan kerapatan vegetasi tinggi dan kemampuan lebih besar dalam menyerap panas, sehingga mampu menurunkan suhu permukaan.

2.6.2. Analisis NDBI (*Normalized Difference Built-up Index*)

Indeks NDBI digunakan untuk menilai tingkat kepadatan bangunan dan lahan terbangun. Nilainya diperoleh dari kombinasi kanal SWIR (Shortwave Infrared) dan NIR, dengan rumus (Li et al., 2025):

$$NDBI = \frac{(SWIR - NIR)}{(SWIR + NIR)}$$

Interpretasi nilai:

a. Nilai positif (+) menunjukkan area terbangun padat, seperti permukiman, gedung, dan infrastruktur.

b. Nilai negatif (-) menunjukkan area vegetatif atau badan air.

Kombinasi NDVI dan NDBI digunakan untuk memisahkan area vegetasi dari area terbangun secara spasial.

2.6.3. Analisis Suhu Permukaan (*Land Surface Temperature / LST*)

LST dihitung menggunakan kanal termal (Band 10) dari citra Landsat 8 dengan rumus konversi suhu permukaan (Vanhellemont, 2020):

$$LST = \frac{BT}{1 + \left(\frac{\lambda \times BT}{\rho}\right) \times \ln(\epsilon)}$$

LST = Suhu permukaan (°C)

BT = Brightness Temperature (°K)

λ = Panjang gelombang emisi radiasi (10.895 μm untuk Landsat 8 Band 10)

ϵ = Emisivitas permukaan

ρ = $h \times c \sigma = 1.438 \times 10^{-2} m \cdot K$

Nilai LST yang diperoleh dikonversi ke satuan Celcius dan kemudian dipetakan untuk memperlihatkan distribusi spasial suhu permukaan di Kota Yogyakarta.

2.6.4. Analisis Urban Heat Island (UHI)

Fenomena Urban Heat Island (UHI) dihitung dengan mengukur perbedaan suhu rata-rata antara wilayah urban (padat bangunan) dan wilayah rural (bervegetasi tinggi), menggunakan rumus (Rahayu et al., 2025):

$$UHI = LST_{urban} - LST_{rural}$$

Keterangan:

LST_{urban} = Suhu permukaan wilayah urban

LST_{rural} = Suhu permukaan wilayah rural

Definisi Operasional Penentuan Zona Pembandingan (Baseline Rural):

Mengingat Kota Yogyakarta dikelilingi oleh kawasan aglomerasi perkotaan yang padat, penentuan zona pembandingan rural (LST_{rural}) dilakukan secara terukur dengan menetapkan kriteria sampel lokasi berbasis indeks vegetasi dan penggunaan lahan. Pemilihan titik atau zona rural referensi wajib memenuhi kriteria berikut:

- 1) Kerapatan Vegetasi Tinggi: Memiliki nilai NDVI lebih dari atau sama dengan 0,60 secara konsisten pada seluruh tahun pengamatan (2020, 2023, dan 2025).
- 2) Kerapatan Bangunan Sangat Rendah: Memiliki nilai NDBI kurang dari 0,00 atau didominasi oleh tutupan vegetasi rapat, kebun pekarangan, dan area non-terbangun.
- 3) Lokasi Sampel Referensi: Sampel zona rural diambil pada kantong-kantong vegetasi non-terbangun yang masih terjaga di wilayah batas luar atau pinggiran kota (seperti kawasan pekarangan rapat di Kotagede bagian timur, Giwangan, dan Tegalrejo bagian barat).

Penentuan nilai LST_{urban} dan LST_{rural} dilakukan dengan mengoperasikan ekstraksi nilai rata-rata piksel LST (*zonal statistics*) pada zona-zona yang telah memenuhi kriteria operasional tersebut.

2.6.5. Analisis Overlay Spasial

Analisis overlay digunakan untuk menggabungkan beberapa peta tematik, yaitu NDVI, NDBI, LST, UHI, dan tata ruang hijau (RTRW).

Tujuannya adalah untuk mengetahui hubungan antara tutupan vegetasi, suhu permukaan, dan pola penggunaan lahan dalam memengaruhi tingkat kerentanan ekologis.

Proses overlay dilakukan menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.x atau QGIS 3.x, dengan tahapan (Alwan et al., 2024):

- 1) Reproyeksi dan penyamaan sistem koordinat (WGS 84 / UTM Zone 49S).
- 2) Overlay peta vegetasi dan suhu untuk melihat korelasi spasial.
- 3) Analisis zonasi untuk menghasilkan peta kerentanan ekologis perkotaan terhadap UHI.

2.6.6. Analisis Indeks Kerentanan Ekologis (IEK)

Untuk menilai tingkat kerentanan ekologis terhadap UHI, dikembangkan Indeks Kerentanan Ekologis (IEK) sebagai gabungan dari variabel NDVI, NDBI, LST, dan UHI. Rumus perhitungannya adalah:

$$IEK = (w_1 \times NDVI) + (w_2 \times NDBI) + (w_3 \times LST) + (w_4 \times UHI)$$

Bobot (w_1 – w_4) ditentukan berdasarkan tingkat pengaruh terhadap UHI menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) (Tiwari & Kanchan, 2024).

Nilai IEK kemudian diklasifikasikan menjadi:

0.00–0.33 = Kerentanan Rendah

0.34–0.66 = Kerentanan Sedang

0.67–1.00 = Kerentanan Tinggi

Hasil analisis ini memberikan gambaran spasial tentang area mana yang paling rentan terhadap tekanan panas akibat menurunnya kapasitas ekologis kota.

2.6.7. Analisis Statistik Korelasi

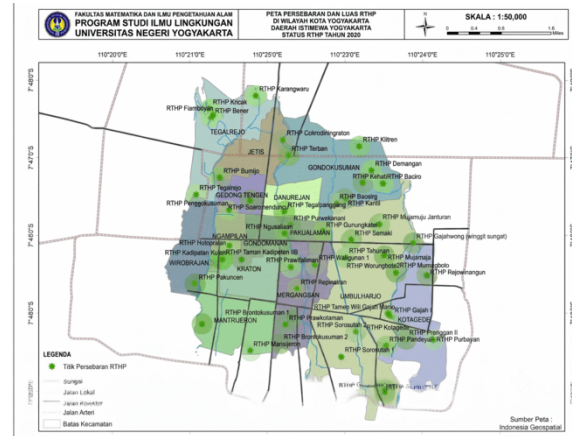
Untuk mengetahui pengaruh ruang hijau terhadap suhu permukaan, dilakukan uji korelasi antara nilai NDVI dan LST. Nilai koefisien negatif menunjukkan hubungan terbalik, yaitu semakin tinggi NDVI, semakin rendah suhu permukaan (Rakusa et al., 2025). Selain itu, korelasi antara UHI dan NDBI juga dianalisis untuk melihat kontribusi area terbangun terhadap peningkatan suhu.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

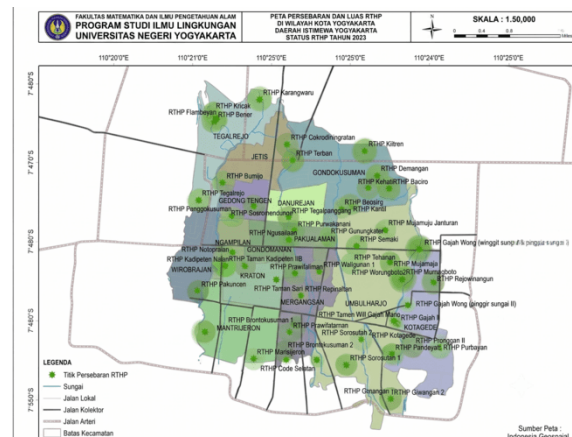
3.1. Kondisi Ruang Terbuka Hijau (RTH) dan Vegetasi

Ruang Terbuka Hijau (RTH) merupakan elemen ekologis utama yang berperan penting dalam menjaga keseimbangan lingkungan perkotaan, khususnya dalam mengatur suhu permukaan dan mengurangi dampak Urban Heat Island (UHI). Berdasarkan hasil analisis citra satelit Landsat 8 OLI/TIRS periode tahun 2020, 2023, dan 2025, kondisi vegetasi di Kota Yogyakarta dianalisis menggunakan metode Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) untuk menilai tingkat kehijauan dan distribusi ruang hijau.

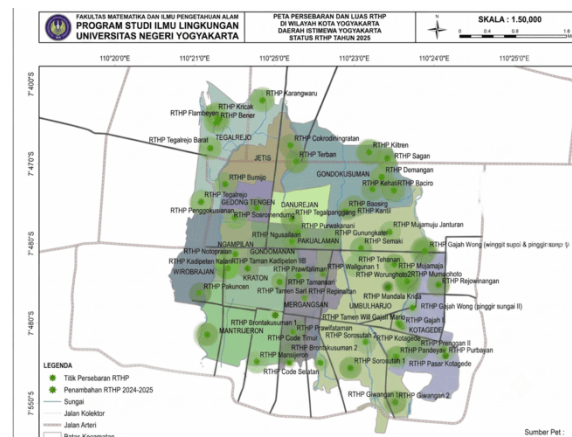
Berdasarkan hasil interpretasi citra satelit tahun 2025, total luas Ruang Terbuka Hijau (RTH) di Kota Yogyakarta hanya mencapai sekitar 20% dari luas wilayah kota ($\pm 6,5 \text{ km}^2$). Persentase tersebut masih berada di bawah target nasional sebesar 30% sebagaimana diamanatkan dalam Peraturan Daerah DIY Nomor 10 Tahun 2023. Perkembangan dan tren perluasan jangkauan vegetasi RTHP Kota Yogyakarta tahun 2020, 2023 dan 2025 disajikan secara komparatif pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4.



Gambar 2. Peta Distribusi dan Jangkauan Ruang Terbuka Hijau Publik (RTHP) Kota Yogyakarta Tahun 2020



Gambar 3. Peta Distribusi dan Jangkauan Ruang Terbuka Hijau Publik (RTHP) Kota Yogyakarta Tahun 2023



Gambar 4. Peta Distribusi dan Jangkauan Ruang Terbuka Hijau Publik (RTHP) Kota Yogyakarta Tahun 2025

Distribusi RTH secara spasial menunjukkan bahwa area dengan nilai NDVI tinggi (0.6–1.0) umumnya terletak di wilayah pinggiran kota, terutama di Kecamatan Tegalrejo, Kotagede, dan Umbulharjo bagian selatan, yang masih memiliki kebun dan pekarangan luas. Rentang nilai ini mengindikasikan kerapatan kanopi vegetasi dan Indeks Luas Daun (*Leaf Area Index*) yang masih optimal untuk menjalankan fungsi pendinginan evaporatif (*evaporative cooling*). Kondisi fisik tersebut secara signifikan meningkatkan

efisiensi proses evapotranspirasi dan nilai albedo permukaan, sehingga bertindak sebagai penyerap panas alami (*natural heat sink*) yang menjaga suhu permukaan lokal tetap rendah.

Sebaliknya, area dengan nilai NDVI rendah (<0.3) ditemukan secara dominan di kawasan pusat kota seperti Malioboro, Gondomanan, dan Jetis, serta sepanjang koridor jalan utama yang padat aktivitas transportasi. Nilai NDVI yang sangat rendah ini mencerminkan hilangnya tutupan kanopi vegetasi dan dominasi permukaan kedap air (*impervious surfaces*) seperti aspal dan beton. Secara fisik, kondisi ini menghilangkan mekanisme pendinginan alamiah melalui evapotranspirasi, sekaligus meningkatkan penyerapan radiasi matahari secara signifikan yang memicu pelepasan panas gelombang panjang pada siang hingga malam hari. Kondisi ini menandakan menurunnya keberadaan vegetasi perkotaan akibat konversi lahan terbuka menjadi area terbangun, baik untuk fungsi komersial, perkantoran, maupun permukiman padat.

Hasil pengolahan NDVI multi-temporal menunjukkan adanya penurunan nilai rata-rata NDVI dari 0.45 pada tahun 2020 menjadi 0.33 pada tahun 2025. Penurunan nilai sebesar 0.12 selama kurun waktu lima tahun ini menandakan terjadinya degradasi tutupan vegetasi dan fragmentasi RTH perkotaan yang cukup masif akibat alih fungsi lahan menjadi kawasan terbangun. Secara ekologis, penurunan indeks ini mencerminkan pelemahan kapasitas pendinginan lingkungan (*cooling effect*) dan penurunan daya serap radiasi matahari alami, yang secara langsung mengecilkan fungsi lanskap kota sebagai penyerap panas (*heat sink*) serta memicu peningkatan intensitas *Urban Heat Island* (UHI) secara signifikan.

Penurunan ini mengindikasikan bahwa tingkat kerapatan vegetasi di wilayah perkotaan Yogyakarta mengalami degradasi yang cukup signifikan selama lima tahun terakhir. Tren ini sejalan dengan meningkatnya nilai NDBI (*Normalized Difference Built-up Index*) yang menunjukkan ekspansi permukaan terbangun secara cepat di pusat kota.

Penurunan tutupan vegetasi memiliki implikasi ekologis langsung terhadap peningkatan suhu permukaan dan penurunan kapasitas adaptif lingkungan. Bukti spasial menunjukkan bahwa terdeliniasinya area dengan penurunan NDVI signifikan (dari 0,45 menjadi 0,33) terkonsentrasi di kawasan pusat kota dan koridor komersial utama, seperti Kecamatan Malioboro, Gondomanan, Gedongtengen, dan Jetis. Pada zona yang terdeliniasi ini, hilangnya vegetasi berbanding lurus dengan lonjakan suhu permukaan (LST), di mana rata-rata LST wilayah urban meningkat dari 28,2°C pada tahun 2020 menjadi 30,1°C pada tahun 2025. Secara fisiologis dan fisik, vegetasi berfungsi sebagai penyerap panas alami (*natural heat sink*) melalui mekanisme evapotranspirasi. Selain itu, vegetasi meningkatkan albedo permukaan dan meredam penyerapan radiasi gelombang panjang oleh material

keras seperti aspal dan beton. Sebaliknya, deliniasi kawasan yang masih mempertahankan tutupan RTH rapat seperti di pinggiran Kecamatan Tegalrejo, Kotagede, dan Umbulharjo bagian selatan terbukti mampu menjaga suhu permukaan rata-rata berada pada kisaran rendah (26,8°C), yang mempertegas korelasi negatif kuat antara kerapatan vegetasi dan suhu permukaan ($r = -0,75$).

Di kawasan dengan nilai NDVI tinggi, suhu permukaan rata-rata tercatat lebih rendah, berkisar antara 26–28°C, sedangkan di area dengan NDVI rendah, suhu meningkat hingga 30–33°C. Hubungan terukur ini dibuktikan oleh nilai koefisien korelasi Pearson sebesar $r = -0,75$, yang mengindikasikan adanya korelasi negatif yang kuat dan signifikan antara NDVI dan Land Surface Temperature (LST). Pengaruh ini secara nyata memperkuat fenomena *Urban Heat Island* (UHI), yang ditunjukkan oleh peningkatan intensitas UHI (ΔT) dari 2,3°C pada tahun 2020 menjadi 3,7°C pada tahun 2025 seiring berkurangnya rata-rata nilai NDVI kota dari 0,45 menjadi 0,33. Selain itu, kontribusi area terbangun terhadap kenaikan suhu dipertegas oleh korelasi positif kuat antara NDBI dan LST dengan nilai $r = +0,80$.

Keterbatasan luas RTH yang saat ini hanya mencakup 20 persen (sekitar 6,5 km²) dari total luas wilayah Kota Yogyakarta berdampak terukur pada penurunan daya dukung ekologis kota. Hasil olahan data menunjukkan bahwa keterbatasan tutupan vegetasi ini berpengaruh signifikan terhadap peningkatan suhu permukaan (LST), dengan kekuatan korelasi negatif yang kuat sebesar $r = -0,75$ ($p < 0,05$). Kondisi tersebut secara langsung memicu ketidakseimbangan iklim mikro yang dibuktikan oleh lonjakan intensitas UHI (ΔT) sebesar 1,4°C selama lima tahun, yaitu dari 2,3°C pada tahun 2020 menjadi 3,7°C pada tahun 2025. Selain itu, penurunan kenyamanan termal ditunjukkan secara spasial oleh perluasan zona berkerentanan ekologis tinggi (IEK > 0,66) yang kini mendominasi kawasan pusat kota dengan nilai LST melebihi 30°C. Oleh karena itu, perencanaan dan pemenuhan target minimal 30 persen RTH secara fungsional perlu menjadi prioritas berbasis data spasial dalam tata kelola Kota Yogyakarta.

Upaya yang dapat dilakukan antara lain adalah peningkatan proporsi RTH publik melalui pengembangan taman kota, jalur hijau jalan, serta integrasi *green infrastructure* seperti *green roof* dan *vertical garden* pada bangunan perkotaan. Langkah ini tidak hanya meningkatkan kualitas lingkungan, tetapi juga berperan penting dalam mitigasi efek panas kota dan pengendalian kerentanan ekologis perkotaan di masa mendatang.

3.2. Analisis Pola Perkembangan Lahan

Pola perkembangan lahan di kawasan perkotaan menjadi salah satu faktor utama yang memengaruhi kondisi ekologis dan keseimbangan termal suatu kota. Di Kota Yogyakarta, dinamika pembangunan dan

pertumbuhan penduduk yang cepat telah mendorong konversi lahan dari area vegetatif menjadi area terbangun, baik untuk kebutuhan permukiman, fasilitas pendidikan, maupun pusat kegiatan ekonomi. Untuk menganalisis pola perubahan tersebut, digunakan metode *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI) yang mampu mengidentifikasi tingkat kepadatan area terbangun berdasarkan karakteristik spektral citra satelit.

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa nilai NDBI di Kota Yogyakarta naik cukup signifikan, dari sekitar 0,45 pada tahun 2020 menjadi 0,52 pada tahun 2025. Kenaikan ini tidak lepas dari makin meluasnya pembangunan, terutama di kawasan pusat kota dan area perdagangan yang tumbuh pesat. Bertambahnya bangunan, jalan beraspal, serta permukaan beton membuat lahan resapan semakin berkurang dan menjadikan area tersebut didominasi permukaan kedap air. Kondisi ini berpengaruh langsung pada suhu permukaan, karena wilayah dengan NDBI tinggi lebih mudah menyerap dan menyimpan panas dibandingkan area yang masih ditutupi vegetasi. Dengan demikian, peningkatan NDBI turut memperkuat intensitas panas dan mendorong terbentuknya UHI, terutama di zona yang tingkat kepadatan bangunannya sangat tinggi.

Berdasarkan hasil pengolahan citra satelit Landsat 8 OLI/TIRS tahun 2020–2025, diperoleh informasi bahwa nilai NDBI tertinggi ($>0,1$) menunjukkan sebaran spasial yang memusat di bagian tengah kota dan memanjang mengikuti koridor transportasi utama. Secara terperinci, sebaran NDBI tinggi ini terkonsentrasi pada kawasan pusat pelayanan kota yang melingkupi Kecamatan Gedongtengen (kawasan Malioboro), Gondomanan, Danurejan, serta Jetis (kawasan Kotabaru). Pola sebaran tersebut meluas secara radial mengikuti koridor arteri komersial, yaitu sepanjang Jalan Solo, Jalan Sudirman, Jalan Mangkubumi, hingga koridor Jalan Sultan Agung dan Jalan Katamso. Wilayah yang terdeliniasi NDBI tinggi ini didominasi oleh perkerasan fisik kedap air berupa bangunan komersial, kompleks perkantoran, perhotelan, permukiman padat dengan kepadatan bangunan melebihi 70 persen, serta infrastruktur transportasi bermaterial keras. Sebaliknya, sebaran nilai NDBI rendah hingga negatif (<0) terdeliniasi di wilayah pinggiran kota seperti Kotagede bagian timur, Giwangan, dan Tegalrejo bagian barat, yang secara spasial masih diimbangi oleh keberadaan tutupan vegetasi pekarangan, kebun, dan lahan terbuka hijau.

Hasil analisis spasial menunjukkan bahwa luas area terbangun secara agregat meningkat dari $\pm 45\%$ pada tahun 2020 menjadi $\pm 52\%$ pada tahun 2025 dari total luas wilayah kota. Namun, kekuatan dan intensitas peningkatan ini menunjukkan sebaran spasial yang tidak merata antarwilayah. Laju ekspansi lahan terbangun paling masif dan dominan teridentifikasi di wilayah peri-urban dan pinggiran kota, terutama di Kecamatan Umbulharjo (bagian

selatan), Tegalrejo (bagian barat), dan Kotagede, dengan intensitas konversi lahan vegetatif menjadi permukiman dan sarana komersial mencapai 8–10%. Sebaliknya, di kawasan pusat kota seperti Kecamatan Gedongtengen, Gondomanan, dan Danurejan, peningkatan area terbangun relatif lebih kecil (1–3%) karena tingkat kepadatan bangunannya memang telah jenuh sejak awal (mencapai $>85\%$), di mana bentuk perkembangannya lebih didominasi oleh vertikalisasi dan pemadatan bangunan (*infill development*).

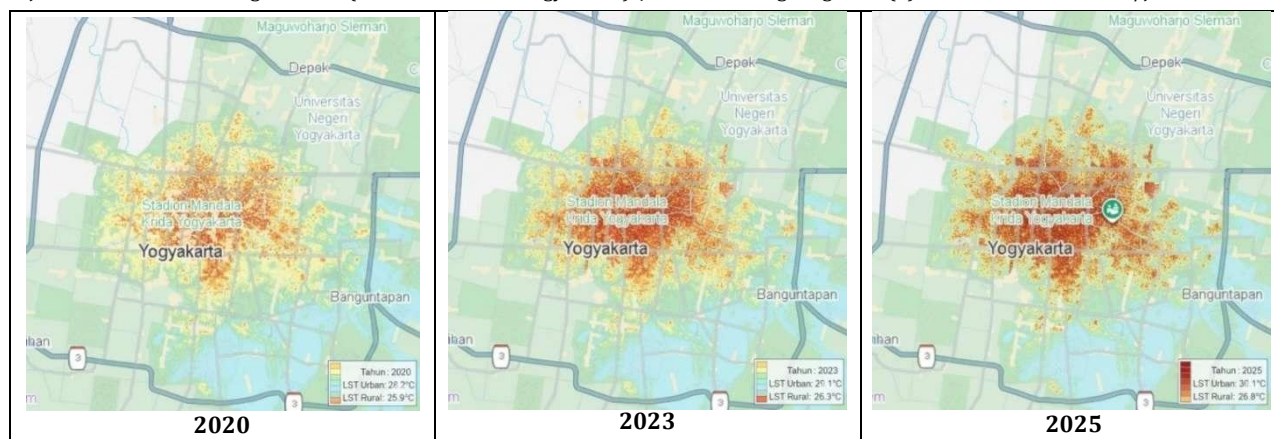
Perkembangan lahan terbangun secara langsung berdampak pada peningkatan luas permukaan kedap air (*impervious surface*). Dampak ini terdeliniasi secara nyata pada zona NDBI tinggi di kawasan pusat kegiatan kota (Kecamatan Gedongtengen, Gondomanan, dan Danurejan) serta koridor utama Jalan Solo dan Jalan Sudirman, di mana penutupan permukaan oleh material kedap air telah mencapai lebih dari 75 persen. Karakteristik permukaan di kawasan-kawasan ini memiliki kemampuan serapan air yang sangat rendah sehingga menurunkan kapasitas infiltrasi tanah dan memicu limpasan permukaan (*surface runoff*). Secara termal, dominasi material aspal jalan arteri dan beton bangunan di koridor komersial Malioboro hingga Gondomanan memiliki kapasitas panas jenis tinggi, yang terbukti secara empiris memicu akumulasi panas dan peningkatan suhu permukaan (LST) hingga mencapai kisaran puncak $30,1^{\circ}\text{C}$ sampai 33°C pada siang hari. Akumulasi panas fisik pada lokasi-lokasi padat perkerasan inilah yang menjadi titik pembentukan inti termal (*thermal core*) utama yang memperkuat intensitas fenomena UHI di wilayah perkotaan Yogyakarta.

Selain itu, konversi lahan vegetatif menjadi bangunan mengurangi kemampuan kota dalam melakukan regulasi iklim mikro. Area yang semula berfungsi sebagai penyerap panas dan penghasil oksigen kini berubah menjadi penyimpan panas, sehingga memperburuk kenyamanan termal dan memperbesar emisi karbon dioksida lokal. Secara ekologis, proses ini menurunkan daya dukung lingkungan perkotaan karena berkurangnya fungsi ekosistem alami.

3.3. Analisis Suhu Permukaan dan *Urban Heat Island* (UHI)

Analisis suhu permukaan dilakukan untuk mengetahui sebaran termal di wilayah perkotaan Yogyakarta dan untuk mengidentifikasi adanya fenomena *Urban Heat Island* (UHI). Suhu permukaan dihitung menggunakan data kanal termal dari citra satelit Landsat 8 OLI/TIRS, yang memiliki resolusi spasial 30 meter dan mampu merekam radiasi termal permukaan bumi.

Berdasarkan hasil pengolahan citra Landsat 8, diperoleh rata-rata suhu permukaan untuk area urban dan rural pada tiga tahun pengamatan seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Peta Distribusi Spasial Suhu Permukaan Lahan (LST) dan Intensitas UHI Kota Yogyakarta Tahun 2020, 2023 (Mid-point), dan 2025 (Hasil Olahan Citra Landsat 8 OLI/TIRS, Akurasi RMSE $\pm 0,85^{\circ}\text{C}$)
(Sumber: Landsat Google Earth 2025)

Tabel 4. Citra Landsat Google Earth 2025 Yogyakarta

Tahun	LST Urban ($^{\circ}\text{C}$)	LST Rural ($^{\circ}\text{C}$)	ΔT ($^{\circ}\text{C}$)	Kategori
2020	28.2	25.9	2.3	Sedang
2023	29.1	26.3	2.8	Sedang
2025	30.1	26.8	3.7	Tinggi

Tabel 5. Klasifikasi Indeks Kerentanan Ekologis (IEK) (Dossou et al., 2021)

Kategori	Rentang Nilai	Karakteristik Wilayah
Rendah	0.00 – 0.33	Vegetasi tinggi, area pinggiran kota
Sedang	0.34 – 0.66	Permukiman padat menengah
Tinggi	0.67 – 1.00	Area komersial dan pusat kota

Dari Tabel 4 terlihat bahwa terjadi peningkatan suhu permukaan rata-rata sebesar $2,3^{\circ}\text{C}$ menjadi $3,7^{\circ}\text{C}$ selama periode lima tahun. Kenaikan ΔT ini menunjukkan intensifikasi fenomena UHI, yang disebabkan oleh peningkatan lahan terbangun dan berkurangnya tutupan vegetasi.

Secara spasial, zona UHI tinggi teridentifikasi di Malioboro, Umbulharjo, Gondomanan, dan koridor transportasi utama, di mana kepadatan bangunan dan aktivitas transportasi sangat tinggi. Sebaliknya, wilayah seperti Tegalrejo, Kotagede, dan Giwangan menunjukkan nilai ΔT yang lebih rendah karena masih memiliki vegetasi dan ruang terbuka hijau.

Korelasi spasial dan analisis statistik memperlihatkan bahwa wilayah dengan NDVI rendah dan NDBI tinggi memiliki keterkaitan yang sangat kuat dengan peningkatan nilai ΔT . Hal ini dibuktikan secara empiris melalui uji korelasi Pearson, di mana hubungan antara NDBI dan LST menunjukkan korelasi positif yang kuat dengan nilai $r = +0,80$ ($p < 0,05$), sedangkan hubungan antara NDVI dan LST menunjukkan korelasi negatif yang kuat sebesar $r = -0,75$ ($p < 0,05$). Bukti statistik terukur ini menandakan hubungan erat antara peningkatan kepadatan bangunan, berkurangnya tutupan vegetasi, dan kenaikan suhu permukaan, yang secara nyata mendorong lonjakan intensitas UHI (ΔT) Kota Yogyakarta dari $2,3^{\circ}\text{C}$ pada tahun 2020 menjadi $3,7^{\circ}\text{C}$ pada tahun 2025. Dengan demikian, hasil ini memperkuat hipotesis bahwa penurunan ruang hijau dan ekspansi area terbangun secara langsung

meningkatkan intensitas UHI di wilayah perkotaan Yogyakarta.

3.4. Analisis Indeks Kerentanan Ekologis (IEK)

Untuk menilai tingkat kerentanan ekologis Kota Yogyakarta terhadap peningkatan suhu akibat UHI, dilakukan analisis Indeks Kerentanan Ekologis (IEK) yang menggabungkan beberapa parameter utama, yaitu NDVI, NDBI, LST, dan UHI. Analisis ini menggambarkan kapasitas ekologis kota dalam menghadapi tekanan termal yang diakibatkan oleh urbanisasi dan perubahan tata ruang.

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai IEK di Kota Yogyakarta dibagi ke dalam tiga kategori seperti pada Tabel 5.

Pemetaan IEK menunjukkan bahwa kerentanan tinggi terkonsentrasi di pusat kota, seperti Kecamatan Gedongtengen, Umbulharjo, dan Gondomanan, dengan nilai NDVI rendah ($<0,3$), NDBI tinggi ($>0,2$), dan $\text{LST} >30^{\circ}\text{C}$. Sementara itu, zona kerentanan sedang meliputi area permukiman padat di Wirobrajan dan Danurejan. Zona kerentanan rendah terdapat di wilayah dengan tutupan vegetasi tinggi, seperti Kotagede dan pinggiran barat Tegalrejo, yang memiliki $\text{NDVI} >0,45$ dan suhu permukaan relatif rendah.

Secara ekologis, peningkatan nilai IEK dapat berkorelasi dengan penurunan luas ruang hijau dan peningkatan suhu permukaan. Artinya, semakin kecil proporsi vegetasi dan semakin tinggi kepadatan bangunan, maka semakin besar tingkat kerentanan ekologis yang dihadapi kota terhadap tekanan panas.

Tabel 6. Hubungan antara Indikator Spasial-Ekologis Utama (Luo, 2023)

Hubungan Variabel	Koefisien Korelasi (r)	Interpretasi
NDVI – LST	-0.75	Hubungan negatif kuat: semakin tinggi vegetasi, semakin rendah suhu permukaan
NDBI – LST	+0.80	Hubungan positif kuat: semakin padat bangunan, semakin tinggi suhu permukaan

3.1. Hubungan Ekologis antara NDVI, NDBI, LST, dan UHI

Analisis hubungan antar variabel dilakukan menggunakan korelasi Pearson (r) untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan antara indikator spasial-ekologis utama.

Hasil korelasi Tabel 6 menunjukkan bahwa vegetasi memiliki pengaruh signifikan dalam menurunkan suhu permukaan melalui proses evapotranspirasi, sementara area dengan kepadatan bangunan tinggi memperbesar penyerapan dan penyimpanan panas oleh material keras.

Hasil overlay antara NDVI, NDBI, LST, dan peta UHI memperlihatkan bahwa wilayah dengan NDVI rendah dan NDBI tinggi identik dengan zona UHI dan IEK tinggi. Secara ekologis, pola ini menegaskan bahwa ketidakseimbangan antara ruang hijau dan lahan terbangun merupakan penyebab utama peningkatan suhu dan kerentanan lingkungan perkotaan.

Kawasan pusat kota Yogyakarta, yang berfungsi sebagai pusat perdagangan dan aktivitas manusia, menjadi titik panas (*urban thermal core*) dengan $\Delta T > 3^{\circ}\text{C}$. Sementara wilayah dengan vegetasi tinggi berperan sebagai penyeimbang ekologis yang menurunkan suhu lokal dan menekan dampak UHI.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa keseimbangan antara ruang hijau dan area terbangun menjadi faktor kunci dalam menentukan tingkat kerentanan ekologis perkotaan terhadap Urban Heat Island. Upaya peningkatan tutupan vegetasi melalui perencanaan tata ruang hijau berkelanjutan menjadi langkah strategis dalam menjaga stabilitas termal dan kualitas lingkungan Kota Yogyakarta.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kerentanan ekologis Kota Yogyakarta terhadap fenomena Urban Heat Island (UHI) semakin meningkat dalam lima tahun terakhir. Intensitas UHI naik dari $\Delta T 2,3^{\circ}\text{C}$ pada tahun 2020 menjadi $3,7^{\circ}\text{C}$ pada tahun 2025, yang selaras dengan meluasnya area terbangun di berbagai kawasan kota. Penurunan nilai NDVI dari 0,45 menjadi 0,33 menegaskan berkurangnya ruang terbuka hijau yang saat ini hanya tersisa sekitar 20% dari luas wilayah kota, sementara peningkatan NDBI dari sekitar 45% menjadi 52% memperlihatkan pesatnya ekspansi lahan terbangun. Integrasi seluruh parameter kemudian dihimpun dalam Indeks Kerentanan Ekologis (IEK), yang menunjukkan bahwa pusat kota menjadi zona paling rentan akibat kombinasi vegetasi rendah, kepadatan bangunan tinggi, dan suhu permukaan yang lebih

panas. Temuan korelasi NDVI-LST ($r = -0.75$) dan NDBI-LST ($r = +0.80$) memperkuat bahwa ketidakseimbangan antara ruang hijau dan area terbangun merupakan faktor kunci yang membentuk tingkat kerentanan ekologis, sekaligus menegaskan pentingnya pengelolaan tata ruang hijau dalam mitigasi UHI. Keseluruhan hasil ini menjawab tujuan penelitian, yaitu menganalisis pola UHI, perubahan tutupan lahan, kondisi ruang hijau, serta tingkat kerentanan ekologis kota sebagai dasar perencanaan tata ruang yang lebih adaptif dan berkelanjutan.

Berdasarkan temuan penelitian yang menunjukkan peningkatan intensitas Urban Heat Island (UHI), penurunan kualitas vegetasi, serta tingginya kerentanan ekologis di pusat Kota Yogyakarta, diperlukan upaya kolaboratif dari pemerintah kota, perencana tata ruang, dan pemangku kepentingan lingkungan untuk memperkuat strategi mitigasi iklim perkotaan. Pemerintah Kota Yogyakarta disarankan memperluas porsi Ruang Terbuka Hijau (RTH) hingga minimal 30% melalui pengembangan taman kota, hutan kota, dan jalur hijau, terutama di kawasan dengan nilai NDVI rendah. Integrasi hasil Indeks Kerentanan Ekologis (IEK) ke dalam dokumen RTRW dan kebijakan penataan ruang menjadi langkah penting agar penanganan UHI berbasis pada data ilmiah yang akurat. Pengendalian konversi lahan hijau, khususnya di zona berkerentanan tinggi, juga perlu diperketat melalui regulasi dan pengawasan yang lebih kuat. Selain itu, sektor swasta dan masyarakat dapat berkontribusi melalui penerapan infrastruktur hijau seperti green roof, vertical garden, dan penggunaan material ramah iklim di area padat bangunan. Mengingat penelitian ini menggunakan citra satelit dengan resolusi temporal terbatas, diperlukan pemantauan suhu permukaan yang lebih rutin di masa mendatang untuk mendukung evaluasi berkala dampak UHI. Penelitian lanjutan juga dianjurkan menggunakan citra resolusi lebih tinggi dan cakupan sampel lapangan yang lebih luas agar potret kerentanan ekologis kota dapat dinilai secara lebih detail dan komprehensif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Kota Yogyakarta dan Dinas Pertanahan serta Tata Ruang yang telah menyediakan data tata ruang sebagai rujukan analisis spasial. Penghargaan juga diberikan kepada BMKG Yogyakarta yang menyediakan data suhu dan informasi klimatologis pendukung. Penulis turut berterima kasih kepada Google Earth Pro atas ketersediaan citra resolusi tinggi yang digunakan dalam verifikasi visual.

DAFTAR PUSTAKA

- Alwan, A., Muhibuddin, A., Syafri, S., & Latief, R. (2024). Analisis spasial-temporal hubungan LST dan NDVI terhadap pembentukan Urban Heat Island di Kota Kendari. *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu Dan Pendidikan Geografi*, 9(3). <https://doi.org/10.29408/geodika.v9i3.31052>
- Asmara, R., & Purbokusumo, Y. (2022). Pilihan Instrumen Kebijakan Penataan Ruang Untuk Manajemen Sumber Daya Tanah Pertanian (Sawah) Di Kabupaten Sleman. *Widya Bhumi*, 2(2), 88-103. <https://doi.org/10.31292/wb.v2i2.40>
- Atianta, L. (2020). Suhu Permukaan Lahan Dan Intensitas Pemanfaatan Ruang Di Perkotaan Yogyakarta. *Jurnal Pengembangan Kota*, 8(2), 151-162. <https://doi.org/10.14710/jpk.8.2.151-162>
- Çetin, M., & Doygun, H. (2024). Determination of land surface temperature and urban heat island effects with remote sensing capabilities: The case of Kayseri, Türkiye. *Natural Hazards*, 123(2), 345-367. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06431-5>
- Dahlan, M. (2022). Kajian Kebijakan Infrastruktur Hijau: Studi Kasus Kawasan Cekungan Bandung. *Jurnal Arsitektur Lansekap*, 138. <https://doi.org/10.24843/jal.2022.v08.i02.p15>
- Demara, R. S., Nasrullah, N., & Budiarti, T. (2025). Analisis spasial indeks vegetasi, suhu permukaan dan urban heat island di Kota Bogor. *Jurnal Lanskap Indonesia*, 17(2), 45-58. <https://doi.org/10.29244/jli.v17i2.60363>
- Dossou, J. F., Li, X., Sadek, M., Almouctar, M. A. S., & Mostafa, E. (2021). Hybrid model for ecological vulnerability assessment in Benin. *Scientific Reports*, 11, 2449. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81742-2>
- Duan, S., Li, X., Huang, H., & Tang, J. (2021). Validation of Landsat land surface temperature products using in-situ observations across the conterminous United States. *International Journal of Remote Sensing*, 42(7), 2501-2520. <https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1862319>
- Giofandi, E. A. (2020). Persebaran Fenomena Suhu Tinggi Melalui Kerapatan Vegetasi Dan Pertumbuhan Bangunan Serta Distribusi Suhu Permukaan. *Jurnal Geografi Media Informasi Pengembangan Dan Profesi Kegeografian*, 17(2), 56-62. <https://doi.org/10.15294/jg.v17i2.24486>
- Hayuningtyas, F. R., & Nursadi, H. (2024). Sinkronisasi Peta LSD Dengan Rencana Tata Ruang Wilayah. *Syntax Literate Jurnal Ilmiah Indonesia*, 9(1), 274-284. <https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v9i1.14888>
- Iqbal, M., Elianda, Y., Akbar, A., & Nurhadiyanti, N. (2020). Keistimewaan Penataan Ruang Menurut Peraturan Daerah Istimewa Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Caraka Prabhu*, 4(1), 99-120. <https://doi.org/10.36859/jcp.v4i1.221>
- Kusyuniadi, I., & Buchori, I. (2020). Efektivitas Pengawasan Kelembagaan Dan Masyarakat Terhadap Kebijakan Penataan Ruang (Kawasan Cagar Alam Geologi Karangsambung). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(2), 209-217. <https://doi.org/10.14710/jil.18.2.209-217>
- Li, X., Zhang, Y., & Chen, H. (2025). Analysis of dense residential areas using normalized difference built-up index and its relation to land surface temperature. *Human Environment & Future*, 8(1), 45-59. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.06.007>
- Luo, J. (2023). Study on the Impact of MODIS-derived NDVI and NDBI on Land Surface Temperature. *2nd International Conference on Environment Engineering, Nanomaterials and Chemical Technology (EENCT 2023)*, 69. <https://doi.org/10.54097/hset.v69i.11911>
- Maharjan, M., Aryal, A., Shakya, B. M., Talchabhadel, R., Thapa, B. R., & Kumar, S. (2021). Evaluation of Urban Heat Island (UHI) Using Satellite Images in Densely Populated Cities of South Asia. *Earth*, 2(1), 86-110. <https://doi.org/10.3390/earth2010006>
- Nahak, T. W., Lutfiani, D. U., Gennosa, C. P., Zahidi, M., Rabana, V. R., & Suyatno. (2024). Analisis Implementasi Kebijakan Tata Ruang Di Kota Yogyakarta. *Moderat Jurnal Ilmiah Ilmu Pemerintahan*, 10(4), 788-805. <https://doi.org/10.25157/moderat.v10i4.4049>
- Rahaman, S., Kumar, P., Chen, R., Meadows, M. E., & Singh, R. B. (2020). Remote Sensing Assessment of the Impact of Land Use and Land Cover Change on the Environment of Bardhaman District, West Bengal, India. *Frontiers in Environmental Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00127>
- Rahayu, S., Santoso, P., & Widodo, A. (2025). Distribution of urban heat island index in Surabaya, Yogyakarta, and Bandung using remote sensing. *Jurnal Geo-Eco*, 12(3), 145-162. <https://jurnal.uns.ac.id/GeoEco/article/view/95660>
- Rakuasa, H., Khromykh, V. V., & Latue, P. C. (2025). Spatial Analysis of the Relationship between Vegetation Index and Land Surface Temperature in Ternate Island, Indonesia. *BIOPENDIX: Jurnal Biologi, Pendidikan Dan Terapan*, 12(1), 48-57. <https://doi.org/10.30598/biopendixvol12issue1p.48-57>
- Rasul, A., Balzter, H., Smith, C., Remedios, J., Adamu, B., Sobrino, J. A., Srivani, M., & Weng, Q. (2020). A Review on Remote Sensing of Urban Heat and Cool Islands. *Land*, 6(2), 38. <https://doi.org/10.3390/land6020038>
- Rosit, H. A., & Aisiyah, N. (2024). Evaluasi Dampak Ketidaksesuaian LSD Dengan RTRW Terhadap Pembangunan Dan Pertanian Di Karanganyar. *Widya Bhumi*, 4(2), 159-175. <https://doi.org/10.31292/wb.v4i2.109>
- Schwaab, J., Meier, R., Mussetti, G., Seneviratne, S. I., Bürgi, C., & Davin, É. L. (2021). The Role of Urban Trees in Reducing Land Surface Temperatures in European Cities. *Nature Communications*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26768-w>
- Suci, S. N., Cendekiawan, M., & Firmansyah, A. (2024). Berhasilkah Implementasi Pengadaan Publik Berkelanjutan Di Indonesia? *Jurnalku*, 4(1), 36-49. <https://doi.org/10.54957/jurnalku.v4i1.644>
- Tiwari, A. K., & Kanchan, R. (2024). Analytical study on the relationship among land surface temperature, land use/land cover and spectral indices using geospatial techniques. *Discover Environment*, 2(1), 1-26. <https://doi.org/10.1007/s44274-023-00021-1>
- Vanhellemont, Q. (2020). Combined land surface emissivity and temperature estimation from Landsat 8 OLI and TIRS. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 166, 390-402. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.06.007>

- Vergara, D. C. D. M., Blanco, A. C., Marciano, J. J. S., Meneses, S. F., Borlongan, N. J. B., & Sabuito, A. J. C. (2023). Assessing and Modelling Urban Heat Island in Baguio City Using Landsat Imagery and Machine Learning. *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-4/W6-2022, 457–464. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlvi-4-w6-2022-457-2023>
- Wardani, D. W., Danoedoro, P., & Susilo, B. (2020). Kajian perubahan penggunaan lahan berbasis citra satelit penginderaan jauh resolusi menengah dengan metode Multi Layer Perceptron dan Markov Chain. *Majalah Geografi Indonesia*, 34(2), 101–115. <https://jurnal.ugm.ac.id/mgi/article/view/15605>