

Fenomena Urban Heat Island dan kaitannya dengan urbanisasi wilayah di Subosukawonosraten

Regional urbanization and its relationship with Urban Heat Island in Subosukowonosraten

Shabrina Hasna Hayati^{1*}, Paramita Rahayu¹, dan Erma Fitria Rini¹

¹Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

*Email korespondensi: shabrinahasna@student.uns.ac.id

Abstrak. Fenomena *Urban Heat Island* (UHI) menjadi tantangan yang cukup penting di wilayah perkotaan mengingat urbanisasi memicu perubahan tutupan lahan dan kenaikan suhu permukaan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan urbanisasi terhadap *Land Surface Temperature* (LST) di Subosukawonosraten pada tahun 2000 dan 2023. Analisis dilakukan dengan pendekatan deduktif kuantitatif yang memanfaatkan data Landsat 5 dan Landsat 8 yang diolah melalui GIS. Analisis makro dilakukan untuk memetakan hubungan tutupan lahan, kepadatan vegetasi, dan kepadatan bangunan terhadap LST, sementara analisis mikro dilakukan untuk mengidentifikasi hotspot (area dengan peningkatan suhu signifikan). Hasil penelitian menunjukkan adanya korelasi positif antara kenaikan kepadatan bangunan dan peningkatan LST, serta korelasi negatif antara penurunan kepadatan vegetasi dengan kenaikan LST. Ditemukan pula bahwa kawasan dengan tipologi "panas" didominasi oleh kawasan permukiman dan industri sebesar 37% serta kawasan tanaman pangan sebesar 34%. Penelitian ini menyimpulkan bahwa urbanisasi di Subosukawonosraten berkontribusi pada peningkatan LST dan fenomena UHI, sehingga diperlukan strategi pengelolaan wilayah yang lebih berkelanjutan.

Kata Kunci: NDVI; NDBI; Urban Heat Island; Urbanisasi Wilayah

Abstract. The Urban Heat Island (UHI) phenomenon has become an important challenge in urban areas as urbanization drives land-cover change and surface

temperature rise. This study aimed to analyze the relationship of urbanization on Land Surface Temperature (LST) in Subosukowonosraten in 2000 and 2023 using a deductive quantitative approach based on Landsat 5 and Landsat 8 imagery processed through GIS. A macro-scale analysis was conducted to examine the relationship between land-cover change, vegetation density, and building density with LST, while a micro-scale analysis was used to identify hotspots, defined as areas experiencing significant temperature increases. The findings indicate a positive correlation between increasing building density and rising LST, as well as a negative correlation between decreasing vegetation density and rising LST. Areas classified as “hot” zones are predominantly composed of residential and industrial land (37%) and agricultural land (34%). This study concludes that urbanization in Subosukowonosraten contributes to the increase in LST and the intensification of UHI, highlighting the importance of more sustainable regional land-use planning and management strategies.

Keywords: NDVI; NDBI; Regional Urbanization; Urban Heat Island

1. Pendahuluan

Urbanisasi didefinisikan sebagai proses pergerakan dan konsentrasi penduduk yang secara signifikan memengaruhi dinamika masyarakat melalui beragam faktor seperti sosial, budaya, politik, dan ekonomi. Proses ini menyebabkan transformasi spasial kawasan perkotaan, yaitu perubahan ciri atau sifat perkotaan yang tidak lagi terbatas di kawasan pusat kota, melainkan meluas hingga ke kawasan pinggiran kota, yang dikenal sebagai proses peri-urbanisasi [1–3]. Peri-urbanisasi terlihat dari perubahan peruntukan lahan pertanian di pinggiran kota menjadi kawasan perkotaan, khususnya dalam bentuk permukiman dan industri, sebagai respons terhadap kebutuhan ruang masyarakat [4–6].

Urbanisasi memicu perubahan tutupan lahan dan penggunaan lahan di suatu wilayah, yang pada akhirnya menyebabkan fenomena *Urban Heat Island* (UHI) [7,8]. Levermore menyatakan bahwa *Urban Heat Island* adalah fenomena yang menunjukkan perbedaan suhu antara kawasan perkotaan dan kawasan pedesaan akibat perbedaan tutupan lahan, yang memengaruhi proses pertukaran dan penyimpanan energi sehingga menghasilkan perbedaan suhu [7]. Fenomena ini disebabkan oleh perbedaan dalam penyerapan radiasi matahari, di mana kawasan perkotaan dengan dominasi permukaan beton dan aspal cenderung menyerap lebih banyak radiasi dibandingkan kawasan pedesaan yang didominasi vegetasi [9]. Seiring dengan pembangunan wilayah yang terus berkembang, *Urban Heat Island* akan semakin meningkatkan suhu udara. Fenomena ini juga berkontribusi terhadap pemanasan global, yang dapat memengaruhi perubahan iklim lokal [10,11].

Urban Heat Island dapat diukur menggunakan *Land Surface Temperature*, yang menjadi parameter penting dalam memahami proses energi permukaan menggunakan data citra satelit [12–14]. Dalam beberapa dekade terakhir, *Land Surface Temperature* telah dikenal sebagai parameter penting untuk memahami proses energi permukaan dan keseimbangan air

pada skala lokal hingga global [13]. Penggunaan lahan atau tutupan lahan suatu wilayah dapat digunakan untuk memperkirakan *Land Surface Temperature*. Aktivitas alami dan antropogenik mengubah penggunaan lahan atau tutupan lahan suatu wilayah, yang pada gilirannya memengaruhi *Land Surface Temperature*. Arnfield (2003) mengungkapkan bahwa penyebab utama *Urban Heat Island* meliputi (1) penggantian tanah dan vegetasi dengan permukaan kedap air seperti beton dan aspal, (2) struktur perkotaan seperti gedung tinggi dan jalan yang memengaruhi fluks radiatif, dan (3) pelepasan panas antropogenik. Di daerah perkotaan, material seperti paving dan bahan bangunan umumnya memiliki albedo lebih rendah dibandingkan area bervegetasi [15]. Material ini memiliki kemampuan yang rendah dalam memantulkan dan menyerap sinar matahari, yang menyebabkan suhu permukaan dan udara lebih tinggi [16].

Wilayah Subosukawonosraten, atau yang dikenal sebagai Solo Raya, adalah wilayah eks Karesidenan Surakarta yang mencakup Kota Surakarta, Kabupaten Boyolali, Kabupaten Sukoharjo, Kabupaten Karanganyar, Kabupaten Wonogiri, Kabupaten Sragen, dan Kabupaten Klaten [17]. Urbanisasi di Subosukawonosraten telah meningkat secara signifikan dalam 30 tahun terakhir, dengan Kota Surakarta berperan sebagai pusat pertumbuhan, yang berdampak pada pertumbuhan kawasan di sekitarnya [17,18]. Kawasan perkotaan sekunder Subosukawonosraten (Boyolali, Sukoharjo, Wonogiri, Sragen, Klaten) menunjukkan tingkat urbanisasi signifikan sebesar 5,2% [17]. Berdasarkan luas lahan terbangun, wilayah Subosukawonosraten mengalami pertumbuhan progresif, dari 80.733 hektare pada tahun 1999 menjadi 155.699 hektar pada tahun 2019, menunjukkan tren pertumbuhan infrastruktur dan perkembangan wilayah yang signifikan selama dua dekade terakhir [17]. Selain itu, menurut Putra, melaporkan kenaikan suhu di kawasan urban Kota Surakarta antara tahun 1997 dan 2007, dari rata-rata suhu 26,6°C menjadi 37,1°C [19].

Melihat perkembangan wilayah Subosukawonosraten, dengan Kota Surakarta sebagai pusat pertumbuhan yang mengalami kenaikan suhu sebesar 11°C dalam satu dekade, berdasarkan penelitian Putra (2018), serta belum adanya penelitian yang secara spesifik membahas fenomena *Urban Heat Island* di wilayah Subosukawonosraten yang menunjukkan peningkatan lahan terbangun sebesar 55%, penting untuk mengetahui bagaimana urbanisasi memengaruhi *Land Surface Temperature* di kawasan tersebut [19]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak urbanisasi terhadap *Land Surface Temperature* dalam konteks fenomena *Urban Heat Island* di Subosukawonosraten pada tahun 2000 dan 2023.

2. Metode

Pendekatan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan deduktif kuantitatif. Pendekatan deduktif merupakan proses penalaran yang dimulai dari teori atau hipotesis menuju data empiris secara sistematis hingga menghasilkan [20]. Model ini terdiri dari persamaan matematika yang merepresentasikan hubungan fungsional antar variabel yang diamati dalam penelitian ini [21]. Pemanfaatan model matematika dalam penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki fenomena yang kompleks serta memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai dinamika hubungan antar variabel dalam konteks urbanisasi

wilayah dan pengaruhnya terhadap fenomena *Urban Heat Island*, dengan menggunakan variabel kerapatan vegetasi, kerapatan bangunan, guna lahan, dan *Land Surface Temperature*. Data yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari Landsat 5 untuk tahun 2000 dan Landsat 8 untuk tahun 2023 [22,23].

Data Landsat 5 (tahun 2000) dan Landsat 8 (tahun 2023) yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari situs resmi *United States Geological Survey* (USGS) pada laman <https://earthexplorer.usgs.gov>. Tahapan *pre-processing citra* dilakukan sebelum analisis untuk memastikan akurasi data yang akan digunakan dalam ekstraksi *Land Surface Temperature*. Proses *pre-processing* mencakup beberapa tahapan penting, yaitu: (1) koreksi radiometrik untuk mengubah nilai *Digital Number* (DN) menjadi nilai *radiance* atau reflektansi; (2) koreksi geometrik untuk memastikan kesesuaian spasial citra dengan sistem koordinat yang digunakan; (3) *masking* awan untuk menghilangkan pengaruh tutupan awan terhadap hasil analisis; serta (4) ekstraksi suhu permukaan berdasarkan band *thermal* (band 6 untuk Landsat 5 dan band 10 untuk Landsat 8), yang dikonversi melalui tahapan *radiance*, *brightness temperature*, hingga estimasi suhu permukaan. Seluruh proses *pre-processing* ini dilakukan dengan merujuk pada kaidah-kaidah teknis pengolahan data penginderaan jauh sebagaimana tercantum dalam Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 11 Tahun 2018 tentang Penyelenggaraan Kegiatan Penginderaan Jauh, khususnya pada prinsip validitas dan akuntabilitas data penginderaan jauh untuk kepentingan ilmiah. Hal ini dimaksudkan agar data hasil olahan memenuhi standar kelayakan secara ilmiah dan dapat dipertanggungjawabkan dalam pengambilan keputusan berbasis spasial [24].

Selanjutnya, dalam penelitian ini dilakukan beberapa jenis analisis yang saling berkaitan, termasuk analisis skala makro dan skala mikro, untuk memperoleh pemahaman komprehensif tentang fenomena urbanisasi dan *Urban Heat Island*. Analisis makro dilakukan secara menyeluruh dalam lingkup Subosukawonosraten untuk memahami hubungan antara urbanisasi dan pengaruhnya terhadap fenomena *Urban Heat Island*. Hal ini dilakukan dengan menganalisis hubungan antara tutupan lahan, kerapatan vegetasi, dan kerapatan bangunan dengan *Land Surface Temperature* menggunakan GIS. Langkah awalnya adalah mengidentifikasi tutupan lahan pada tahun 2000 dan 2023, kemudian menganalisis nilai indeks kerapatan vegetasi serta nilai indeks kerapatan bangunan terhadap *Land Surface Temperature* pada kedua tahun tersebut. Selanjutnya, analisis mikro dilakukan dengan berfokus pada hotspot area di Subosukawonosraten yang menunjukkan kenaikan perubahan suhu *Land Surface Temperature* yang signifikan. Hotspot ini kemudian dianalisis lebih lanjut untuk menentukan tipologi aktivitas perkotaannya berdasarkan penggunaan lahannya dengan bantuan GIS.

2.1. Analisis Normalized Difference Vegetation Indeks (NDVI)

Analisis tersebut menggunakan data dari citra landsat dengan memanfaatkan kombinasi band inframerah dekat dan band merah. Kombinasi band tersebut dapat membantu dalam identifikasi tanaman atau vegetasi yang kemudian akan terlihat kontras antara vegetasi

dengan kenampakan yang bukan berupa vegetasi. Pengolahan NDVI dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut [21]:

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

Keterangan:

NDVI : Nilai indeks kerapatan vegetasi

NIR : Nilai reflektan band inframerah dekat

RED : Nilai reflektan band inframerah

Hasil dari perhitungan ini berupa peta sebaran tingkat kerapatan vegetasi dan nilai kerapatan vegetasi pada wilayah penelitian. Hasil dari pengolahan data terkait tingkat kerapatan vegetasi memiliki rentang nilai antara -1 sampai dengan +1. Dengan interpretasi semakin tinggi nilainya maka semakin tinggi pula kerapatan vegetasinya [21].

2.2. Analisis Normalized Difference Building Indeks (NDBI)

Analisis tersebut menggunakan data dari citra landsat dengan memanfaatkan kombinasi shortwave infrared dan near infrared. Kombinasi band tersebut dapat membantu dalam identifikasi bangunan yang memperlihatkan perbedaan antara bangunan dengan kenampakan yang bukan berupa bangunan. Pengolahan NDBI [25], sebagai berikut:

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

Keterangan:

NDBI : Nilai indeks kerapatan bangunan

SWIR : Nilai reflektan band inframerah pendek

NIR : Nilai reflektan band inframerah dekat

Hasil dari perhitungan ini berupa peta sebaran tingkat kerapatan bangunan. Kerapatan bangunan hasil olahan dari citra landsat memiliki rentang nilai antara -1 sampai dengan +1 yang menggambarkan tingkat kerapatan bangunan. Dengan interpretasi semakin tinggi nilai NDBI maka semakin tinggi pula tingkat kerapatan bangunan pada suatu wilayah [26].

2.3. Analisis Land Surface Temperature (LST)

Perubahan suhu permukaan lahan dilakukan dengan metode *Land Surface Temperature* yaitu melalui gelombang *thermal*. Tahapan analisis perubahan suhu permukaan lahan dijelaskan dalam lima tahap, yaitu sebagai berikut [27].

1. Konversi *digital number* untuk mendapatkan TOA (*Top of Atmosphere*) Radiance

$$L_{\lambda} = ML Q_{cal} + AL$$

Keterangan:

$L\lambda$ = TOA *Spectral Radiance* (dalam satuan Watts/ m²* srad * μ m))

ML = Nilai *Radiance Multi Band* (RMB)

Qcal = Nilai *Digital Number Citra Landsat*

AL = Nilai *Radiance Add Band* (RAB)

- Perhitungan TOA *Radiance* menjadi *Brightness Temperature* dalam Temperatur Kelvin

$$T_b = \frac{K2}{\ln ((K1/L\lambda) + 1)}$$

- Menghitung nilai indeks kerapatan vegetasi (NDVI)

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

Keterangan:

TB = *Brightness temperature* (dalam Kelvin)

$L\lambda$ = TOA *Spectral Radiance*

K1 = Konstanta thermal K1

K2 = Konstanta thermal K2

- Menghitung nilai proporsi vegetasi (PV) dan nilai emisivitas

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

Kemudian dilanjutkan dengan menghitung nilai emisivitas, dengan persamaan sebagai berikut:

$$\epsilon = 0,004PV + 0,0986$$

- Konversi nilai suhu satelit menjadi nilai suhu permukaan (LST) dalam celcius

$$LST^{\circ}C = \frac{T_B}{1 + \left(\lambda \frac{T_B}{\alpha} \right) \ln(\epsilon)} - 273.15$$

Keterangan:

LST = Suhu permukaan (Celcius)

TB = *Brightness Temperature Satelit* (Kelvin)

λ = Panjang gelombang emisi radian

A = Berasal dari hc/σ dengan nilai 1.438×10^{-2} mK = 14.388 μ mK

E = Emisivitas

Analisis untuk mengetahui kuat lemahnya hubungan antara *Land Surface Temperature* dengan nilai indeks kerapatan bangunan (NDBI) dan nilai indeks kerapatan vegetasi (NDVI) dilakukan dengan teknik analisis korelasi Pearson [28].

Sebelum analisis korelasi, dilakukan uji normalitas dengan menggunakan metode Komolgorov Smirnov. Uji K-S dipilih karena cocok untuk ukuran sampel sedang hingga besar ($n > 50$) dan dapat mendeteksi deviasi dari distribusi normal berdasarkan perbandingan antara distribusi empiris dan distribusi teoritis. Uji ini bertujuan untuk memastikan bahwa data yang digunakan memenuhi asumsi normalitas, yang merupakan salah satu syarat penggunaan analisis korelasi Pearson [29], dengan kriteria hasil ujinya:

H₀ = Data diambil dari distribusi normal
 H₁ = Data bukan diambil dari distribusi normal
 A = 0,05

Kriteria Uji:

Jika nilai probabilitas ($\text{sig} > \alpha$ maka H₀ diterima)

Jika nilai probabilitas ($\text{sig} \leq \alpha$ maka H₀ ditolak)

Koefisien korelasi *product moment*, yang dilambangkan dengan (r), memiliki rentang nilai antara -1 hingga 1. Koefisien korelasi positif maksimum adalah 1, sedangkan koefisien korelasi negatif maksimum adalah -1. Korelasi *product moment* pearson ini dilambangkan (r) dengan ketentuan bahwa nilai r tidak lebih dari harga ($-1 < r < 1$) [14]. Apabila nilai $r = -1$ artinya korelasinya negatif sempurna, jika $r = 0$ artinya tidak ada korelasi dan apabila nilai $r = 1$ berarti korelasi positif sempurna sangat kuat [29].

2.5. Analisis overlay

Penggunaan data dalam tahap analisis *overlay* ini diantaranya meliputi peta hasil perubahan *Land Surface Temperature* dan data penggunaan lahan eksisting di Subosukawonosraten. Output yang dihasilkan adalah mengetahui bagaimana tipologi aktivitas perkotaan yang dilihat dari aktivitas perkotaan yang dapat diinterpretasikan dari penggunaan lahan eksisting di wilayah studi pada *hotspot* area dengan perubahan nilai *Land Surface Temperature* tertinggi. Sehingga dapat diketahui aktivitas apa saja yang menyebabkan kenaikan nilai *Land Surface Temperature* di wilayah Subosukawonosraten.

Analisis *overlay* adalah teknik yang digunakan dalam Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk menggabungkan layer peta perubahan *Land Surface Temperature* dengan layer guna lahan di Subosukawonsraten. Dengan penentuan area dengan perubahan *Land Surface Temperature* dalam lingkup kecamatan, kemudian mengklasifikasikan *Land Surface Temperature* dengan menghasilkan 2 tipologi yaitu tipologi panas dan dingin [30].

Penentuan tipologi menggunakan perhitungan Efek *Urban Heat Island* atau intensitas dari *Urban Heat Island* dapat diidentifikasi dengan persamaan (1) dan (2) [31] sebagai berikut:

$$T > \mu 0,5 \alpha \dots\dots\dots (1)$$

Persamaan (1) dimana T menunjukkan ambang batas suhu (*threshold temperature*) untuk area yang terjadi *Urban Heat Island*. Sedangkan untuk area yang tidak terjadi *Urban Heat Island* didapatkan melalui persamaan:

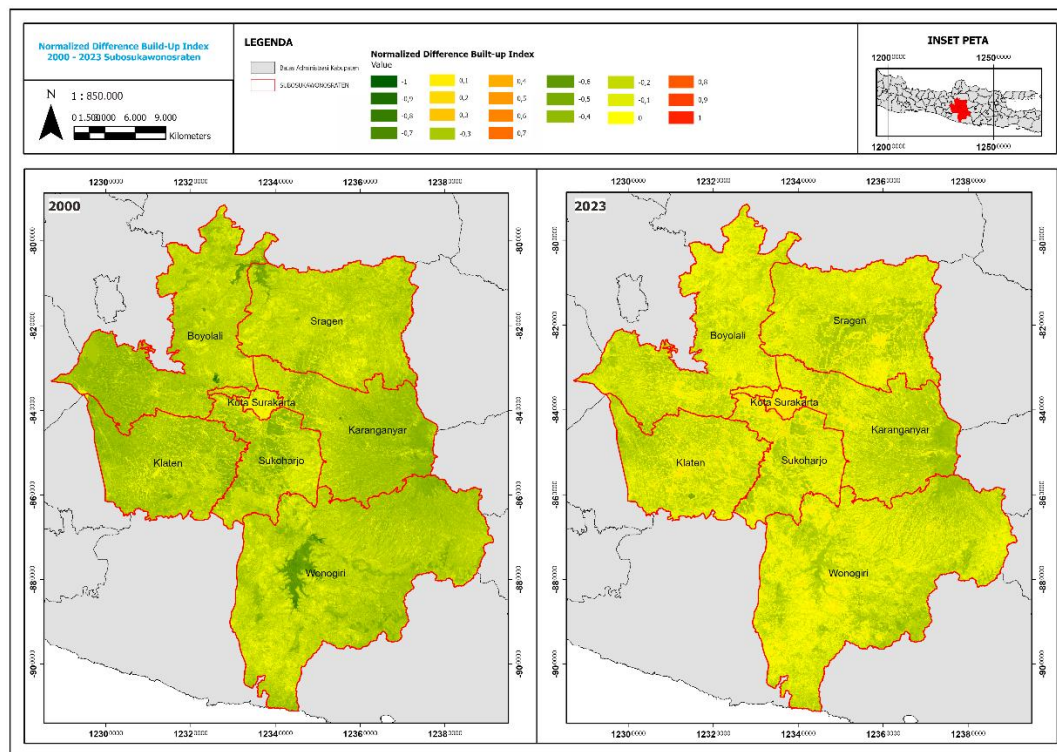
$$0 < T \leq \mu + 0,5 \alpha \dots\dots\dots(2)$$

Dimana μ dan α merupakan nilai rerata dan standar deviasi dari suhu permukaan yang diperoleh. Jika pada perhitungan persamaan (1) dan (2), ambang batas suhu untuk *Urban Heat Island* adalah 32°C , maka kawasan dengan suhu lebih dari 32°C merupakan lokasi terjadinya UHI. Pada persamaan ini, menjadi garis bawah dipengaruhi oleh nilai μ dan α . Nilai μ dan α tentu berhubungan dengan statistik citra yang dipengaruhi oleh luas wilayah pengamatan atau jenis penggunaan lahannya. Kemudian dihitung berapa luasan lahan terbangun dan lahan tidak terbangunnya. Kemudian diidentifikasi jenis guna lahan yang terdapat di kecamatan dengan perubahan *Land Surface Temperature* tipologi panas di Subosukawonosraten.

3. Hasil penelitian dan pembahasan

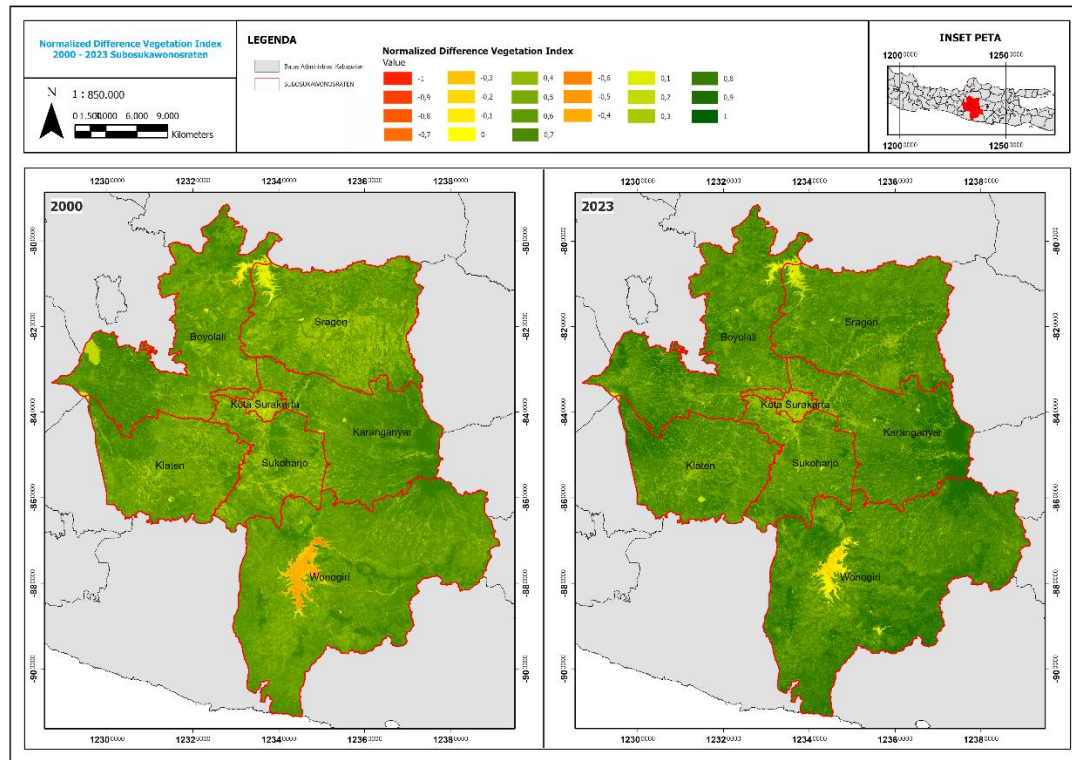
3.1. Hasil

3.1.1. *Perubahan kerapatan vegetasi dan kerapatan bangunan akibat dari fenomena urbanisasi di Subosukawonosraten pada tahun 2000 dan 2023.* Pengolahan Nilai Indeks Kerapatan Bangunan (NDBI) pada tahun 2000 menunjukkan bahwa wilayah Subosukawonosraten memiliki rentang nilai minimum sebesar -0,9 dan maksimum 0,49, dengan nilai rata-rata -0,20 dan standar deviasi sebesar 0,11. Peta sebaran NDBI tahun 2000 menggambarkan pengklasifikasian nilai dengan jarak interval 0,1, di mana warna merah yang semakin pekat atau tua menunjukkan nilai yang semakin besar, mengindikasikan kawasan dengan kerapatan bangunan tinggi. Warna kuning merepresentasikan nilai 0 yang menunjukkan adanya tutupan lahan berupa badan air, sedangkan warna hijau yang semakin pekat atau tua menunjukkan nilai yang semakin rendah, mengindikasikan area dengan tingkat kerapatan bangunan yang rendah. Sementara itu, pada tahun 2023, nilai NDBI wilayah Subosukawonosraten berada pada rentang nilai minimum -0,71 dan maksimum 0,5, dengan rata-rata -0,20 dan standar deviasi sebesar 0,11. Pola klasifikasi warna pada peta tahun 2023 serupa dengan tahun 2000, menunjukkan ekspansi wilayah terbangun yang signifikan terutama di wilayah sekitarnya seperti Sukoharjo, Klaten, dan Karanganyar.



Gambar 1. Peta perubahan nilai indeks kerapatan bangunan (NDBI) tahun 2000 dan tahun 2023.

Di sisi lain, pengolahan Nilai Indeks Kerapatan Vegetasi (NDVI) pada tahun 2000 menunjukkan bahwa nilai di wilayah Subosukawonosraten berada pada rentang minimum -0,5 dan maksimum 1, dengan nilai rata-rata sebesar 0,61 dan standar deviasi 0,16. Peta NDVI tahun 2000 juga diklasifikasikan dengan jarak interval 0,1, di mana warna hijau yang semakin pekat menunjukkan nilai yang semakin besar, mengindikasikan kawasan dengan kerapatan vegetasi tinggi seperti hutan atau lahan hijau produktif. Warna kuning menunjukkan nilai 0, merepresentasikan badan air, sementara warna merah mencerminkan nilai yang semakin rendah, yang menggambarkan tutupan vegetasi yang rendah atau area terbangun. Pada tahun 2023, hasil pengolahan NDVI menunjukkan rentang nilai antara -0,42 hingga 0,9, dengan rata-rata 0,61 dan standar deviasi 0,15. Perubahan yang signifikan terlihat pada distribusi nilai NDVI, di mana area dengan nilai tinggi (hijau tua) mengalami penurunan luas secara signifikan, sedangkan area dengan nilai rendah (merah) semakin meningkat, yang mengindikasikan pengurangan vegetasi akibat urbanisasi.



Gambar 1. Peta perubahan nilai indeks kerapatan vegetasi (NDVI) tahun 2000 dan tahun 2023.

Fenomena peri-urbanisasi tercermin dalam perubahan penggunaan lahan di Subosukawonosraten, di mana kawasan pinggiran yang sebelumnya digunakan untuk pertanian berubah menjadi area perkotaan, terutama berupa pemukiman besar dan kawasan industri [[4,32]. Data menunjukkan bahwa pada tahun 2020, sebanyak 78% penduduk Subosukawonosraten tinggal di daerah perkotaan. Kota Surakarta sebagai pusat pertumbuhan memiliki tingkat urbanisasi sebesar 100%, diikuti oleh Klaten sebesar 98,7%, Sukoharjo sebesar 91%, serta Boyolali, Karanganyar, Sragen, dan Wonogiri. Tingginya tingkat urbanisasi di Kota Surakarta dan kabupaten sekitarnya menunjukkan fenomena peri-urbanisasi, di mana perubahan fisik tidak hanya terjadi di pusat kota tetapi juga merambah ke kawasan pinggiran [4,33].

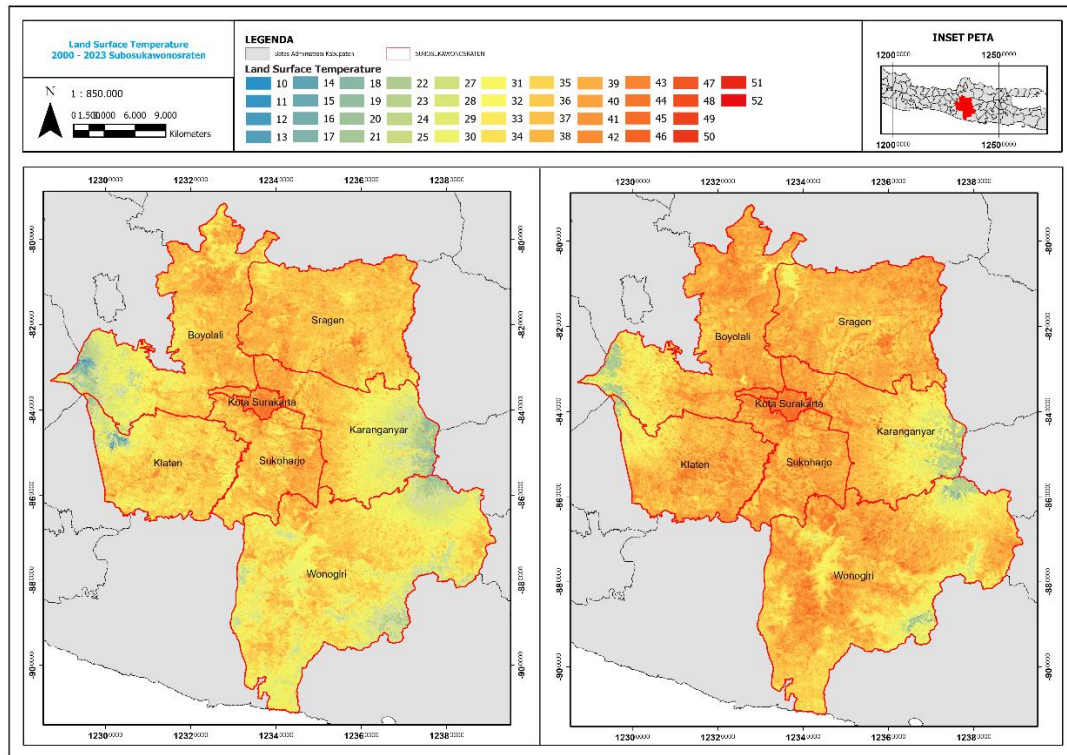
Pesatnya urbanisasi di Subosukawonosraten mendorong transformasi lahan yang signifikan, di mana lahan alami seperti hutan dan lahan basah banyak diubah menjadi lahan terbangun, seperti pemukiman dan infrastruktur [34]. Hal ini terlihat dari hasil analisis NDBI dan NDVI tahun 2000 dan 2023. Pada tahun 2000, wilayah dengan NDBI tinggi terkonsentrasi di pusat-pusat tertentu, terutama Kota Surakarta, sementara area dengan NDVI tinggi (vegetasi lebat) masih mendominasi sebagian besar wilayah lainnya. Namun, pada tahun 2023, area dengan NDBI tinggi meluas secara signifikan, mencerminkan perluasan kawasan terbangun ke daerah-daerah pinggiran. Sebaliknya, area dengan NDVI tinggi mengalami penurunan signifikan, mengindikasikan berkurangnya tutupan vegetasi yang sejalan dengan perubahan tata guna

lahan akibat urbanisasi. Transformasi ini menjadi indikator utama adanya urbanisasi fisik yang masif, yang tidak hanya berdampak pada perubahan lanskap tetapi juga berpotensi memberikan dampak negatif pada lingkungan, seperti degradasi vegetasi dan peningkatan suhu permukaan.

3.1.2. Perubahan Land Surface Temperature dan kaitannya dengan perubahan kerapatan vegetasi dan bangunan di Subosukawonosraten tahun 2000 dan 2023. Suhu permukaan adalah representasi dari energi yang terdapat di permukaan bumi, yang umumnya diukur dalam derajat Celcius atau Kelvin [19]. Suhu permukaan lahan (*Urban Heat Island*) adalah suhu yang terjadi pada permukaan kulit bumi akibat dari radiasi panas yang dipancarkan oleh suatu objek [14]. Pada umumnya suhu permukaan maksimum berada di pusat kota dan menurun secara berkala ke arah pedesaan maupun pinggiran kota [35]. Aktivitas alami dan antropogenik mengubah penggunaan lahan atau tutupan lahan suatu wilayah, hal ini juga mempengaruhi *Land Surface Temperature* di wilayah tersebut. Peningkatan perkembangan kota yang pesat mengakibatkan perubahan pada tutupan lahan, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi cuaca dan iklim yang dapat membentuk fenomena yang dikenal sebagai *Urban Heat Island* [36]. Peningkatan suhu di kawasan perkotaan disebabkan oleh sebagian besar tutupan lahan perkotaan yang terdiri dari bahan yang kedap air yang cenderung menyerap panas dengan baik dan memiliki konduktivitas termal yang tinggi [19].

Perubahan suhu *Land Surface Temperature* di Subosukawonosraten antara tahun 2000 dan 2023 menunjukkan peningkatan yang signifikan, di mana rata-rata suhu meningkat dari 34,62°C pada tahun 2000 menjadi 36,52°C pada tahun 2023. Pada tahun 2000, suhu dominan berada pada rentang 29–35°C, yang mencerminkan kondisi relatif lebih sejuk di sebagian besar wilayah, terutama di daerah dengan tutupan vegetasi yang masih cukup baik. Pada periode ini, area dengan suhu di atas 38°C hanya mencakup sekitar 3,4% dari total wilayah.

Namun, pada tahun 2023, distribusi suhu bergeser secara signifikan ke rentang yang lebih tinggi, yaitu 31–37°C, dengan area yang mengalami suhu di atas 38°C meningkat drastis menjadi 7,9%. Bahkan, pada tahun 2023, wilayah dengan suhu ekstrem di atas 40°C mulai teridentifikasi, meskipun hanya mencakup sekitar 1,4% dari total wilayah. Suhu permukaan dipengaruhi oleh berbagai hal yang melatarbelakanginya, wilayah dengan kerapatan vegetasi tinggi memiliki suhu yang dipengaruhi oleh permukaan kanopi vegetasi, namun pada wilayah dengan kerapatan vegetasi rendah, suhu permukaan yang dihasilkan berupa rata-rata dari permukaan di sekitarnya [37].



Gambar 2. Peta perubahan *Land Surface Temperature* (LST) tahun 2000 dan tahun 2023.

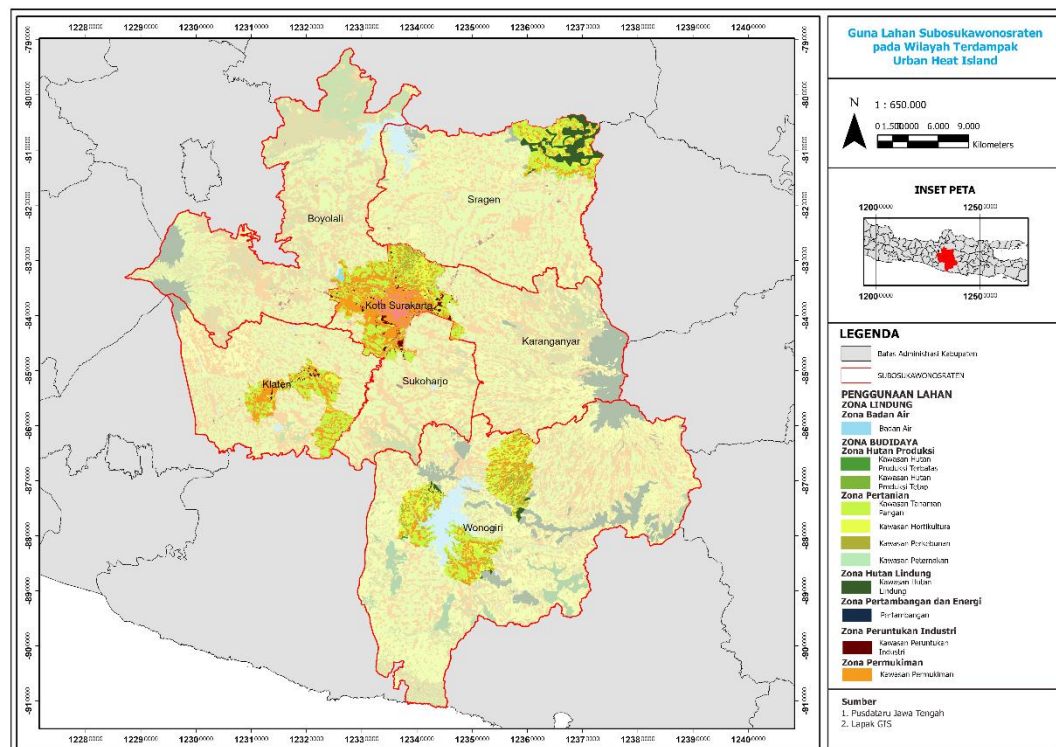
Terdapat korelasi negatif antara fenomena *Urban Heat Island* dengan karakteristik lahan bervegetasi dan lahan berair bahwa pada wilayah dengan kerapatan vegetasi yang tinggi yang dihitung menggunakan NDVI memiliki nilai *Land Surface Temperature* yang rendah [19]. Hal ini sesuai dengan yang terjadi pada Subosukawonosraten dimana grafik tahun 2000 dan 2023 menunjukkan adanya hubungan korelasi negatif antara NDVI dan LST, di mana peningkatan nilai *Land Surface Temperature* berlawanan dengan NDVI yang memiliki nilai yang menurun dengan nilai koefisien sebesar -0,341 pada tahun 2000 dan -0.457 pada tahun yang menunjukkan adanya korelasi negatif [29].

Berbeda dengan NDVI yang memiliki korelasi negatif, terdapat korelasi *Land Surface Temperature* dengan kerapatan bangunan menunjukkan nilai positif yang menunjukkan semakin tinggi tingkat kerapatan bangunan sebuah kota, maka semakin tinggi pula nilai *Land Surface Temperature*[38] . Hal ini sesuai dengan yang terjadi pada Subosukawonosraten dimana grafik tahun 2000 dan 2023 menunjukkan adanya hubungan korelasi positif yang semakin menguat antara NDBI dan *Land Surface Temperature*, di mana peningkatan *Land Surface Temperature* selaras dengan NDBI yang memiliki nilai yang meningkat dengan nilai koefisien sebesar 0.5888 pada tahun 2000 dan 0.636 pada tahun yang menunjukkan adanya korelasi positif yang kuat [29].

Perubahan *Land Surface Temperature* di Subosukawonosraten antara tahun 2000 dan 2023 mencerminkan dinamika perubahan kerapatan vegetasi dan bangunan yang erat kaitannya dengan fenomena urbanisasi. Urbanisasi di kawasan ini ditandai dengan peningkatan pembangunan fisik dan alih fungsi lahan, terutama di wilayah sekitar Kota Surakarta, yang menjadi pusat pertumbuhan dengan tingkat urbanisasi mencapai 100%. Proses urbanisasi ini secara progresif meluas ke kabupaten-kabupaten sekitarnya, seperti Klaten (98,7%), Sukoharjo (91%), serta Boyolali, Karanganyar, Sragen, dan Wonogiri, sehingga memengaruhi pola penggunaan lahan dan lingkungan fisik.

Kombinasi penurunan NDVI dan peningkatan NDBI berdampak langsung pada kenaikan rata-rata *Land Surface Temperature*. Pada tahun 2000, nilai *Land Surface Temperature* di Subosukawonosraten rata-rata berada pada 34,62°C, dengan distribusi suhu dominan di rentang 29–35°C. Namun, pada tahun 2023, rata-rata suhu meningkat menjadi 36,52°C, dengan distribusi suhu bergeser ke rentang 31–37°C. Area dengan suhu ekstrem di atas 38°C meningkat dari 3,4% pada tahun 2000 menjadi 7,9% pada tahun 2023, dan suhu di atas 40°C mulai teridentifikasi, meskipun mencakup hanya 1,4% wilayah.

3.1.3. Tipologi aktivitas perkotaan pada wilayah dengan fenomena Urban Heat Island di Subosukawonosraten. *Urban Heat Island* adalah fenomena perbedaan suhu antara kawasan perkotaan dan perdesaan akibat perbedaan tutupan lahan, yang menyebabkan variasi dalam proses pertukaran dan penyimpanan energi sehingga memunculkan perbedaan suhu [7]. Kenaikan suhu permukaan yang diakibatkan oleh *Urban Heat Island* bergerak seiring dengan perluasan wilayah perkotaan [39]. Pertumbuhan kota, terutama yang ditandai dengan peningkatan permukaan kedap air, kepadatan penduduk tinggi, dan desain perkotaan yang lebih padat, merupakan ciri utama urbanisasi dan menjadi faktor utama dalam memengaruhi efek *Urban Heat Island* [14]. Fenomena ini juga terlihat di Subosukawonosraten, yang pada tahun 2020 mencatat tingkat urbanisasi sebesar 76,8%, bersamaan dengan kenaikan suhu *Land Surface Temperature* dari rata-rata 34,62°C pada tahun 2000 menjadi 36,52°C pada tahun 2023. Kenaikan suhu rata-rata sebesar 2°C tersebut menunjukkan adanya korelasi antara pertumbuhan wilayah perkotaan dan peningkatan suhu. Pada hasil analisis LST di wilayah Subosukawonosraten pada tahun 2023, didapati bahwa nilai reratanya 43.5°C dengan nilai standart deviasi sebesar 4.823. Sehingga didapatkan batas ambang *Urban Heat Island* adalah 46°C. Dari total 131 kecamatan di wilayah ini, sebanyak 23 kecamatan (17,5%) mengalami fenomena *Urban Heat Island*, dengan suhu yang lebih tinggi dibandingkan kecamatan lain di sekitarnya.



Gambar 4. Peta penggunaan lahan Wilayah Subosukawonosraten tahun 2020 terdampak UHI.

Suhu permukaan dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk kepadatan vegetasi. Wilayah dengan kepadatan vegetasi tinggi dipengaruhi oleh kanopi vegetasi, sedangkan daerah dengan kepadatan vegetasi rendah menghasilkan suhu permukaan yang mencerminkan rata-rata permukaan di sekitarnya [37]. Secara umum, suhu permukaan maksimum cenderung ditemukan di pusat kota dan menurun ke arah pedesaan atau pinggiran kota [35]. Perubahan tutupan lahan akibat urbanisasi yang pesat juga berdampak pada cuaca dan iklim, yang memunculkan fenomena *Urban Heat Island* [36]. Di Subosukawonosraten, 37% dari wilayah yang mengalami *Urban Heat Island* terdiri dari kawasan terbangun, termasuk permukiman dan industri, diikuti oleh kawasan tanaman pangan sebesar 34%, dan kawasan hortikultura sebesar 15%. Peningkatan suhu di kawasan terbangun ini sebagian besar disebabkan oleh tutupan lahan perkotaan yang terdiri dari bahan kedap air, yang memiliki konduktivitas termal tinggi dan mampu menyerap panas dengan baik [19].

Tabel 1. Luas penggunaan lahan pada kecamatan terdampak *Urban Heat Island*.

No	Penggunaan Lahan	Luas (km ²)	Persentase (%)
1	Badan Air	8.219	2,85%
2	Kawasan Hortikultura	111.429	17,46%
3	Kawasan Hutan Lindung	44.995	1.110
4	Kawasan Hutan Produksi	0.385	15.056
Terbatas			

No	Penggunaan Lahan	Luas (km ²)	Persentase (%)
5	Kawasan Hutan Produksi Tetap	0.014	6.080
6	Kawasan Perkebunan	46.783	0.052
7	Kawasan Permukiman	260.330	0.002
8	Kawasan Peruntukan Industri	12.094	6.321
9	Kawasan Peternakan	0.004	35.175
10	Kawasan Tanaman Pangan	255.846	1.634
	Total	740.100	0.001

Selain kawasan terbangun, jenis guna lahan lain seperti tanaman pangan dan hortikultura juga memengaruhi suhu permukaan. Tanah basah dan tanah kering untuk tanaman pangan dan hortikultura memiliki nilai emisivitas lebih rendah dibandingkan dengan hutan yang memiliki kanopi rapat sehingga dapat memancarkan radiasi inframerah lebih baik [40,41]. Hal ini menyebabkan lahan tanaman pangan berkontribusi pada peningkatan nilai *Land Surface Temperature* karena kerapatan vegetasi yang rendah [42]. Berdasarkan penelitian yang mendukung temuan ini, lahan sawah memiliki suhu tertinggi (34°C) dibandingkan dengan kebun karet (28°C) [43]. Di Subosukawonosraten, kawasan tanaman pangan dan hortikultura menempati posisi kedua dan ketiga dalam distribusi guna lahan di kecamatan yang mengalami *Urban Heat Island*.

Sebanyak 85,44% dari desa-desa di kecamatan yang mengalami *Urban Heat Island* di Subosukawonosraten merupakan desa urban atau perkotaan. Wilayah urban sebagai desa/kelurahan yang memenuhi kriteria berdasarkan kepadatan penduduk, persentase rumah tangga non-pertanian, dan akses terhadap fasilitas perkotaan [44]. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa kenaikan suhu permukaan akibat UHI berjalan seiring dengan perluasan wilayah perkotaan [39]. Konsep *Urban Heat Island* menunjukkan bahwa suhu atmosfer perkotaan lebih tinggi dibandingkan daerah sekitarnya, yang diukur melalui *Land Surface Temperature* [12]. Pertumbuhan kota yang ditandai dengan permukaan kedap air, kepadatan penduduk tinggi, dan desain urban padat merupakan faktor utama yang memengaruhi *Urban Heat Island* [14].

Fenomena ini terlihat jelas di Subosukawonosraten, di mana dari 23 kecamatan yang mengalami *Urban Heat Island*, mayoritas merupakan kawasan urban dengan guna lahan berupa permukiman sebesar 37%, diikuti tanaman pangan (34%) dan hortikultura (15%). Aktivitas di kawasan *Urban Heat Island* sebagian besar meliputi perdagangan, jasa, perkantoran, serta penyediaan sarana dan prasarana pelayanan lainnya, yang selaras dengan karakteristik kawasan urban. Kawasan tanaman pangan juga turut berkontribusi terhadap kenaikan suhu, mengingat jenis vegetasi ini memiliki kanopi yang kurang rapat sehingga kemampuan memancarkan radiasi lebih rendah dibandingkan hutan.

4. Kesimpulan

Perkembangan urbanisasi yang pesat telah memberikan dampak signifikan terhadap perubahan lingkungan perkotaan, termasuk munculnya fenomena *Urban Heat Island*, yang

menjadi tantangan serius dalam menjaga keseimbangan ekologi dan kenyamanan hidup. Wilayah Subosukawonosraten, yang terdiri dari sejumlah kawasan administratif di Jawa Tengah, mengalami pertumbuhan urbanisasi sebesar 76,8% pada tahun 2020, dengan Kota Surakarta berperan sebagai pusat pertumbuhan utama. Dampak urbanisasi ini terlihat pada peningkatan daerah terbangun, seperti jalan, industri, dan bangunan, yang memberikan kontribusi signifikan terhadap perubahan iklim lokal dengan memanaskan atmosfer dan meningkatkan emisi karbon, yang tercermin pada perubahan *Land Surface Temperature* [45]. Penelitian terkait pengaruh urbanisasi terhadap *Land Surface Temperature* di Subosukawonosraten menunjukkan bahwa urbanisasi wilayah berdampak pada perubahan *Land Surface Temperature*, terutama terkait dengan fenomena *Urban Heat Island*.

Hal ini didukung oleh beberapa temuan. Pertama, terdapat korelasi positif antara peningkatan nilai kerapatan bangunan (NDBI) dengan kenaikan *Land Surface Temperature*, serta korelasi negatif antara penurunan kerapatan vegetasi (NDVI) dengan peningkatan *Land Surface Temperature*. Kedua, nilai rata-rata *Land Surface Temperature* di Subosukawonosraten meningkat sebesar 2–3°C. Ketiga, sebanyak 23 kecamatan atau 17,5% dari total wilayah Subosukawonosraten memiliki tipologi panas atau mengalami fenomena *Urban Heat Island*. Terakhir, dari kecamatan yang memiliki tipologi panas tersebut, 85,44% merupakan desa urban atau wilayah perkotaan yang ditentukan berdasarkan kepadatan penduduk, persentase rumah tangga non-pertanian, dan akses terhadap fasilitas perkotaan. Dengan demikian, tipologi aktivitas di kawasan yang mengalami fenomena *Urban Heat Island* didominasi oleh kawasan permukiman dan industri sebesar 37%, diikuti oleh kawasan tanaman pangan sebesar 34%. Aktivitas utama di kawasan tersebut meliputi perdagangan, jasa, perkantoran, serta penyediaan sarana dan prasarana pelayanan lainnya.

Ucapan terima kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota UNS, Fakultas Teknik UNS, dan semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini.

Referensi

- [1] Pawan P. Urbanization and its causes and effects: a review. *International Journal of Research and Scientific Innovation* 2016;3:110–2.
- [2] Mallick S, Paul S, Rout S, Behera rabi narayan. How is peri-urban research evolved towards sustainable urban planning in last five decades: a quantitative analysis and systematic review. *Frontiers of Urban and Rural Planning* 2025;3:1–34. <https://doi.org/10.1007/s44243-025-00070-5>.
- [3] Sahana M, Ravetz J, Patel PP, Dadashpoor H, Follmann A. Where is the peri-urban? A systematic review of peri-urban research and approaches for its identification and demarcation worldwide. *Remote Sens (Basel)* 2023;15:1316.
- [4] Pamungkas MRF, Sejati AW. Urban Growth and Clustering Surakarta Peri-Urban Area. *The Indonesian Journal of Planning and Development* 2024;9:42–53.

- [5] Lei J, Xie Y, Chen Y, Zhong T, Lin Y, Wang M. The Transformation of Peri-Urban Agriculture and Its Implications for Urban–Rural Integration Under the Influence of Digital Technology. *Land* (Basel) 2025;14:375.
- [6] Gayo APA. Urban Heat Island Pada Kota Industri. *EDUSAINTEK: Jurnal Pendidikan, Sains Dan Teknologi* 2023;10:212–20.
- [7] Lau T-K, Hsu H-C. Urban Heat Island Effect and Unequal Temperature-Related News Attention in Taiwan’s Major Cities. *Urban Science* 2025;9:417.
- [8] Sabitha FA. Analisis pengaruh tingkat urbanisasi terhadap ketersediaan lahan lahan permukiman perumahan di Kota Surabaya. *Jurnal Lemhannas RI* 2022;10:19–26.
- [9] Ghanghermeh A, Roshan G, Asadi K, Attia S. Spatiotemporal analysis of urban heat islands and vegetation cover using emerging hotspot analysis in a humid subtropical climate. *Atmosphere* (Basel) 2024;15:161.
- [10] Cuce PM, Cuce E, Santamouris M. Towards sustainable and climate-resilient cities: mitigating urban heat islands through green infrastructure. *Sustainability* 2025;17:1303.
- [11] Karimi Firozjaei M, Mahmoodi H, Jokar Arsanjani J. Daytime Surface Urban Heat Island Variation in Response to Future Urban Expansion: An Assessment of Different Climate Regimes. *Remote Sens* (Basel) 2025;17:1730.
- [12] Kumar A, Agarwal V, Pal L, Chandniha SK, Mishra V. Effect of Land Surface Temperature on Urban Heat Island in Varanasi City, India. *J* 2021, 4, 420–429 2021.
- [13] Solanky V, Singh S, Katiyar SK. Land surface temperature estimation using remote sensing data. *Hydrologic Modeling: Select Proceedings of ICWEES-2016*, Springer; 2018, p. 343–51.
- [14] Wibisono P, Miladan N, Utomo RP. Hubungan Perubahan Kerapatan Vegetasi dan Bangunan terhadap Suhu Permukaan Lahan: Studi Kasus di Aglomerasi Perkotaan Surakarta. *Desa-Kota: Jurnal Perencanaan Wilayah, Kota, Dan Permukiman* 2023;5:148–62.
- [15] Lu Y, Qin Y, Huang C, Pang X. Albedo of Pervious Concrete and Its Implications for Mitigating Urban Heat Island. *Sustainability* 2023;15:8222. <https://doi.org/10.3390/su15108222>.
- [16] Liu Y, Chu C, ZHANG R, Chen S, Xu C, Zhao D, et al. Impacts of High-albedo Urban Surfaces on Outdoor Thermal Environment across Morphological Contexts: A Case of Tianjin, China. *Sustain Cities Soc* 2023;100:105038. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105038>.
- [17] Kurniati SA, Rahayu P, Istanabi T. Peri-Urbanisasi dan Dinamika Perkembangan Kawasan Perkotaan Sekunder (Studi Kasus: Bosukawonosraten). *Desa-Kota: Jurnal Perencanaan Wilayah, Kota, Dan Permukiman* 2022;4:167–80.
- [18] Sugestiadi MI, Basuki Y, Artikel I. The Influence of Spatial Interaction Between Surakarta City and Its Surrounding Urban Areas on Urban Growth Open Access. *Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Kota* 2020;16:173–86.

- [19] Putra AK, Sukmono A, Sasmito B. Analisis hubungan perubahan tutupan lahan terhadap suhu permukaan terkait fenomena Urban Heat Island menggunakan citra landsat (Studi Kasus: Kota Surakarta). *Jurnal Geodesi Undip* 2018;7:22–31.
- [20] Siroj RA, Afgani W, Fatimah F, Septaria D, Salsabila GZ. Metode penelitian kuantitatif pendekatan ilmiah untuk analisis data. *Jurnal Review Pendidikan Dan Pengajaran (JRPP)* 2024;7:11279–89.
- [21] Eris I, Rambe SSU, Wahyuningtiyas L. NDVI Based Vegetation Dynamics in Jember Regency from 2019 to 2024 Using Multitemporal Landsat 8 Imagery. *Reinforcement Review in Civil Engineering Studies and Management* 2025;4:62–76.
- [22] Singh P, Verma P, Chaudhuri A, Singh V, Rai P. Evaluating the relationship between Urban Heat Island and temporal change in land use, NDVI and NDBI: a case study of Bhopal city, India. *International Journal of Environmental Science and Technology* 2023;21. <https://doi.org/10.1007/s13762-023-05141-y>.
- [23] Guha S, Govil H. An analytical study on urban indices and land surface temperature. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 2024;32:231–40. <https://doi.org/10.3846/jeelm.2024.21835>.
- [24] Wulder M, White J, Goward S, Masek J, Irons J, Herold M, et al. Landsat continuity: Issues and opportunities for land cover monitoring. *Remote Sens Environ* 2008;112:955–69. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.07.004>.
- [25] Arif N, Toersilowati L. Monitoring and predicting development of built-up area in sub-urban areas: A case study of Sleman, Yogyakarta, Indonesia. *Heliyon* 2024;10.
- [26] Muhammad D, Mataburu I. Pemetaan kepadatan bangunan pada tahun 2018 dan 2023 menggunakan Normalized Difference Built-Up Index (NDBI) di Kota Sukabumi. *Pemetaan kepadatan bangunan pada tahun 2018 dan 2023 menggunakan Normalized Difference Built-Up Index (NDBI) di Kota Sukabumi. Jurnal Sains Geografi* 2024;2:31–40. <https://doi.org/10.21009/JSg.v2i1.06>.
- [27] Ullah N, Siddique MA, Ding M, Grigoryan S, Khan IA, Kang Z, et al. The impact of urbanization on urban heat island: Predictive approach using Google Earth Engine and CA-Markov modelling (2005–2050) of Tianjin City, China. *Int J Environ Res Public Health* 2023;20:2642.
- [28] Fitri M, Triyatno T. UTILIZATION OF REMOTE SENSING FOR LAND SURFACE TEMPERATURE (LST) DISTRIBUTION MAPPING IN SOLOK CITY IN 2021. *International Remote Sensing Applied Journal* 2023;2:20–30. <https://doi.org/10.24036/irsaj.v2i1.22>.
- [29] M I, M. W. Afgani, A. Haqqi, I. Azhari. Techniques of normality testing in quantitative research: Approaches and implications for parametric analysis. *J-CEKI: Jurnal Cendekia Ilmiah* 2025.
- [30] Punit. Analisis overlay sebagai metode penggabungan beberapa lapisan data spasial dalam GIS. *Jurnal Geodesi Undip* 2023.
- [31] Javanmardi M, Haghighi AT, Firoozabadi SR. Urban Heat Island mapping based on land surface temperature and statistical thresholding: A case study in Tehran, Iran. *Int J Remote Sens* 2023;44:1768–89. <https://doi.org/10.1080/01431161.2023.XXXXXXX>.

- [32] Mondal D, Banerjee A. Exploring peri-urban dynamism in India: Evidence from Kolkata Metropolis. *Journal of Urban Management* 2021;10. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2021.06.004>.
- [33] Sasongko I, Gai AM, Azzizi VT. Spatiotemporal Dynamics of Land Use and Community Perception in Peri-Urban Environments: The Case of the Intermediate City in Indonesia. *Urban Science* 2024;8:97.
- [34] Zhang K, Wang R, Shen C, Da L. Temporal and spatial characteristics of the urban heat island during rapid urbanization in Shanghai, China. *Environ Monit Assess* 2010;169:101–12.
- [35] Gyimah RR. The hot zones are cities: Methodological outcomes and synthesis of surface urban heat island effect in Africa. *Cogent Soc Sci* 2023;9:2165651.
- [36] Tursilowati L. Pulau panas perkotaan akibat perubahan tata guna dan penutup lahan di bandung dan bogor. *Jurnal Sains Dirgantara* 2010;3.
- [37] Darlina SP, Sasmito B, Yuwono BD. Analisis Fenomena Urban Heat Island Serta Mitigasinya (Studi Kasus: Kota Semarang). *Jurnal Geodesi Undip* 2018;7:77–87.
- [38] Sobirin S, Fatimah RN. Urban heat island kota surabaya. *Geo Edukasi* 2015;4.
- [39] Salam M, Islam MK, Jahan I, Chowdhury MA. Assessing the impacts of vegetation loss and land surface temperature on Surface Urban Heat Island (SUHI) in Gazipur District, Bangladesh. *Computational Urban Science* 2024;4:24.
- [40] Xu C, Wang W, Zhu H. Spatial gradient differences in the cooling island effect and influencing factors of urban park green spaces in Beijing. *Buildings* 2024;14:1206.
- [41] Wang Y, He W, Duan M, Liu H, Chen H, Han C, et al. Evaluation of the CRTM Land Emissivity Model over Grass and Sand Surfaces Using Ground-Based Measurements. *Remote Sens (Basel)* 2023;16:95. <https://doi.org/10.3390/rs16010095>.
- [42] Yan W, Jiang J, He L, Zhao W, Nair R, Wang X, et al. Correcting land surface temperature from thermal imager by considering heterogeneous emissivity. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 2024;129. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103824>.
- [43] Gunadi G, Juniarti J, Gusnidar G. Hubungan stok karbon tanah dan suhu permukaan pada beberapa penggunaan lahan di Nagari Padang Laweh Kabupaten Sijunjung. *Jurnal Solum* 2020;17:1–11.
- [44] Badan Pusat Statistik. Master File Wilayah 2023. 2024.
- [45] Javadpoor M, Sharifi A, Gurney KR. Mapping the relationship between urban form and CO2 emissions in three US cities using the Local Climate Zones (LCZ) framework. *J Environ Manage* 2024;370:122723.