OPEN ACCESS

http://jurnal.uns.ac.id/jdk E-ISSN: 2656-5528



Hubungan Perubahan Kerapatan Vegetasi dan Bangunan terhadap Suhu Permukaan Lahan: Studi Kasus di Aglomerasi Perkotaan Surakarta

Relation of Changes in Vegetation and Building Density to Surface Temperature: The Case of Urban Agglomeration of Surakarta

Prasetyo Wibisono^{1*}, Nur Miladan¹, Rizon Pamardhi-Utomo¹

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

(Diterima: 20 Juli 2022; Disetujui: 27 September 2022)

Abstrak

Tingginya tingkat urbanisasi pada suatu kota menimbulkan permasalahan yang kompleks, diantaranya meningkatnya aktivitas masyarakat yang berdampak pada berkurangnya lahan vegetasi pada kawasan perkotaan. Seringkali ditemukan bahwa kerapatan vegetasi wilayah suburban lebih tinggi daripada di pusat kota. Dengan demikian, terdapat perbedaan suhu yang cukup signifikan antara wilayah suburban dan pusat kota. Hal tersebut memicu terbentuknya pulau panas di perkotaan atau yang biasa disebut Urban Heat Island (UHI). Salah satu fenomena UHI dapat dilihat di Kota Surakarta. Peningkatan perubahan tutupan lahan terbangun dan peningkatan konsentrasi aktivitas masyarakat di Kota Surakarta dapat memicu peningkatan suhu permukaan kota. Bertolak pada masalah tersebut penelitian ini berupaya mengetahui hubungan perubahan kerapatan vegetasi dan bangunan di aglomerasi perkotaan Surakarta terhadap suhu permukaan lahan. Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian deskriptif kuantitatif dengan teknik analisis regresi linear berganda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam rentang waktu 2000-2021, kerapatan vegetasi mengalami penurunan setiap tahunnya. Berbeda dengan kerapatan vegetasi, kerapatan bangunan pada kawasan penelitian mengalami peningkatan setiap tahunnya. Perubahan kerapatan vegetasi dan bangunan juga diikuti terjadinya peningkatan suhu sebesar 4,24°C. Hal tersebut terjadi akibat peningkatan lahan terbangun tiap tahunnya yang tidak diimbangi dengan peningkatan lahan bervegetasi sebagai peneduh dalam wilayah perkotaan. Berdasarkan analisis regresi linear berganda, diketahui bahwa adanya perubahan kerapatan vegetasi dan bangunan memiliki hubungan sedang terhadap terjadinya perubahan suhu permukaan dengan pengaruh sebesar 30,2%. Berdasarkan uji T parsial, diketahui bahwa perubahan kerapatan vegetasi dan kerapatan bangunan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan suhu permukaan secara terpisah.

Kata kunci: aglomerasi perkotaan; kerapatan bangunan; kerapatan vegetasi; suhu permukaan lahan

Abstract

The high level of urbanization in a city creates complex problems. One of the problem is the increase in community activities which have impact on the reduction of vegetation land in urban areas. It is often found that vegetation density in suburban areas are higher than those in the downtown. Thus, there is a significant temperature difference between suburban areas and downtown. This triggers the formation of heat islands in urban areas, commonly called Urban Heat Islands (UHI). One of the UHI phenomena can be seen in Surakarta City. Increased changes in built-up area, together with the increase in concentration of community activities in the city, can trigger an increase in the surface temperature of the city. Grounding from this problem, this research seeks to determine the relationship between changes in vegetation density and buildings in Surakarta urban agglomeration to land surface temperature. The research is descriptive quantitative research with multiple linear regression analysis techniques. The results show that during 2000 to 2021, the vegetation density in study area has been decreasing. In contrast to the vegetation density, the building density in the study area has been increase in temperature of 4.24°C. This is due to the increase in built-up land which is not followed by increase in vegetated land as shade in urban areas. Based on multiple linear regression analysis, it is revealed that changes in vegetation and building density have a moderate relationship to the changes in surface temperature with an effect of 30.2%. Based on the partial T test, it is understood that changes in building density and vegetation density have significant effect on changes in surface temperature separately.

Keywords: building density; land surface temperature; urban agglomeration; vegetation density

^{*}Penulis korespondensi. e-mail: wibsonspras@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Salah satu tantangan pembangunan berkelanjutan adalah tingginya tingkat urbanisasi pada suatu kota. Kota yang semakin berkembang akan menarik penduduk pedesaan yang menginginkan kehidupan yang lebih baik (Harahap, 2013). Meningkatnya fenomena urbanisasi dibuktikan dengan perkembangan data yang ada, bahwa jumlah penduduk yang tinggal di perkotaan mencapai 50% pada abad ke-21 dan masih terus meningkat hingga 70% pada tahun 2050 (Bokaie, Zarkesh, Arasteh, & Hosseini, 2016). Urbanisasi merupakan salah satu isu dinamis yang sangat serius saat ini karena urbanisasi yang masif akan mengakibatkan pertumbuhan kota yang semrawut dan tidak terencana jika dilakukan tanpa pengendalian ruang. Menurut penelitian (Harahap, 2013), urbanisasi mempengaruhi perubahan vegetasi menjadi lahan terbangun. Perubahan tutupan lahan tersebut disebabkan oleh peningkatan intensitas aktivitas masyarakat serta permintaan lahan yang tinggi. Aktivitas perkotaan yang cenderung dinamis akan mengakibatkan peningkatan kebutuhan ruang yang berbanding terbalik dengan ketersediaan lahan (Fajarini, Barus, & Panuju, 2015). Hal tersebut akan berdampak pada berkurangnya vegetasi pada kawasan perkotaan. Seringkali ditemukan bahwa kerapatan vegetasi wilayah suburban lebih tinggi daripada kerapatan vegetasi di pusat kota sehingga terdapat perbedaan suhu yang cukup signifikan antara wilayah suburban dan pusat kota, yang dikenal juga dengan fenomena *Urban Heat Island* (UHI). Menurut Zhao et al., (2014), salah satu ciri terjadinya fenomena UHI adalah suhu wilayah perkotaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah di sekitarnya.

UHI, atau dalam bahasa Indonesia diistilahkan dengan pulau bahang perkotaan atau pulau panas perkotaan, merupakan fenomena dimana suhu permukaan di perkotaan yang lebih tinggi dari daerah sekitarnya (Zhao et al., 2014). UHI merupakan salah satu masalah klimatologi yang akan terus berkembang di perkotaan. Terbentuknya UHI diakibatkan berkurangnya tutupan vegetasi dan meningkatnya kerapatan bangunan. Bagian tertentu di wilayah perkotaan akan menjadi sangat panas pada siang hari, terutama selama musim panas. Fenomena UHI serta permasalahan lingkungan yang terjadi pada perkotaan tidak lain diakibatkan oleh penataan ruang yang kurang optimal. Penataan ruang yang hanya memprioritaskan segi ekonomi dan pertumbuhan kota tanpa memperhatikan aspek lingkungan akan membahayakan masa depan. Tingginya perubahan penggunaan lahan atau alih fungsi lahan bervegetasi menjadi wilayah terbangun mempengaruhi kenaikan suhu permukaan di wilayah perkotaan (Tran et al., 2017).

Perbedaan suhu di daerah perkotaan dan di pedesaan menimbulkan dampak negatif bagi manusia dan lingkungan karena menurunkan kualitas udara, meningkatkan konsumsi energi, serta mempengaruhi kesehatan masyarakat (Plocoste, Jacoby-Koaly, Molinié, & Petit, 2014). Fenomena UHI memperburuk masalah perkotaan. Selain suhu yang menjadi kurang nyaman untuk sebagian manusia, terdapat kaitan antara aspek kesehatan yang kemudian mempengaruhi aktivitas ekonomi, lingkungan, dan sosial (Patz, Campbell-Lendrum, Holloway, & Foley, 2005). UHI mempengaruhi penurunan produktivitas tenaga kerja, yang kemudian menyebabkan penurunan ekonomi suatu kota (Wong, Alias, Aghamohammadi, Aghazadeh, & Nik Sulaiman, 2017).

Di Indonesia, fenomena UHI juga terjadi di Kota Surakarta. Dalam RTRW Provinsi Jawa Tengah tahun 2009-2029, disebutkan bahwa Kota Surakarta ditetapkan sebagai Kawasan Strategis dari sudut pandang pertumbuhan ekonomi beserta wilayah sekitarnya, yaitu Subosukowonosraten. Kebijakan tersebut mengakibatkan beban aktivitas perkotaan yang tinggi pada Kota Surakarta. Pada tahun 2020, tercatat jumlah penduduk Kota Surakarta mencapai 522.364 penduduk. Hal ini menjadikan Kota Surakarta terklasifikasi sebagai kota metropolitan (BPS Kota Surakarta, 2021). Selain itu, menurut Badan Pusat Statistik Kota Surakarta, terdapat peningkatan tutupan lahan terbangun yang signifikan dari tahun 2000 hingga tahun 2016 sebesar 138,15 Ha dari luas wilayah Kota Surakarta yang adalah 4.672 Ha. Alih fungsi lahan terbangun tersebut menambah persentase tutupan lahan terbagun Kota Surakarta menjadi 77,44%. Hal tersebut memperlihatkan bahwa terdapat keterbatasan ruang pada Kota Surakarta yang memicu perkembangan kota menuju wilayah sekitarnya. Perkembangan kota yang meluas hingga ke wilayah sekitar Kota Surakarta mengakibatkan penurunan lahan bervegetasi, diantaranya adalah lahan pertanian pada Kecamatan Colomadu, Kabupaten Karanganyar. Menurut Badan Pusat Statistik Kabupaten Karanganyar, terjadi penurunan lahan pertanian dari tahun 2007 hingga 2020 seluas 67,37 Ha. Lahan pertanian tersebut beralih fungsi menjadi perumahan, industri, dan perdagangan (Pradana, Soedwiwahjono, & Nurhadi, 2021).

Peningkatan perubahan tutupan lahan terbangun, bersama peningkatan konsentrasi aktivitas masyarakat di Kota Surakarta, meningkatkan suhu permukaan kota. Dengan keterbatasan ketersediaan lahan di Kota Surakarta, perubahan tutupan lahan dan aktivitas masyarakat meluas hingga ke wilayah sekitarnya. Hal tersebut juga dapat memperluas peningkatan suhu permukaan kota hingga menuju wilayah sekitarnya. Meningkatnya suhu permukaan kota tersebut dapat mengakibatkan ketidaknyamanan dalam beraktivitas di wilayah perkotaan karena berkurangnya vegetasi perkotaan yang

memiliki sifat peneduh. Selain itu, meningkatnya suhu permukaan kota dapat meningkatkan konsumsi energi dengan menggunakan AC dan dapat meningkatkan kadar karbon di udara yang memperluas fenomena perubahan iklim melalui pemanasan global. Seluruh hal tersebut memicu munculnya fenomena UHI di wilayah perkotaan Surakarta. Penelitian ini bertujuan memahami hubungan antara perubahan kerapatan vegetasi dan bangunan dengan suhu permukaan lahan di aglomerasi perkotaan Surakarta.

2. KAJIAN LITERATUR

2.1 PULAU PANAS PERKOTAAN (URBAN HEAT ISLAND)

Urban Heat Island (UHI) merupakan fenomena terbentuknya pulau panas perkotaan yang diakibatkan oleh suhu udara kota yang meningkat. Bertambahnya permukiman dan gedung-gedung menyebabkan turbulensi yang cukup tinggi yang menyebabkan partikel-partikel terperangkap di lingkungan tersebut (Tursilowati, 2005). Lebih mudahnya, UHI adalah hubungan peningkatan suhu permukaan dan wilayah perkotaan yang dapat mempengaruhi perbedaan suhu antara daerah perkotaan dan pinggiran kota, peri-urban atau pedesaan (Zhao et al., 2014). Terdapat dua jenis UHI, yaitu Surface Urban Heat Island (SUHI) dan Atmospheric Urban Heat Island (AUHI). SUHI dapat diperoleh melalui data penginderaan jauh menggunakan inframerah termal dengan perhitungan Suhu Permukaan Lahan (Land Surface Temperature (LST)). Sementara itu, AUHI dapat diperoleh dengan membandingkan dua suhu pada lokasi dari stasiun cuaca. Pengamatan ini sangat sulit didapatkan secara utuh dan akurat yang dapat mewakili suhu lingkungan perkotaan karena lokasi stasiun meteorologi yang terpisah jauh dan distribusi yang tidak merata (Yang et al., 2017).

2.2 SUHU PERMUKAAN LAHAN (LAND SURFACE TEMPERATURE)

Suhu permukaan menunjukkan seberapa panas permukaan bumi pada lokasi tertentu. Permukaan yang dimaksud adalah segala sesuatu yang dapat dilihat di dunia melalui satelit, seperti atap bangunan dan tumbuhan. Suhu diukur di permukaan bumi dan dapat dianggap sebagai suhu kulit tanah (Becker & Li, 1990). Secara umum, suhu permukaan maksimum ditemukan di pusat-pusat perkotaan dengan penurunan berkala menuju daerah pedesaan dan pinggiran kota (Azhura, 2019). Menurut Effendi (Effendi, Bey, Zain, & Santosa, 2007), suhu permukaan adalah ukuran energi yang terkandung di permukaan bumi, biasanya dinyatakan dalam derajat Celcius atau Kelvin. Prinsip dasar penginderaan jauh adalah penggunaan sensor panjang gelombang untuk mendeteksi energi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan atau dipantulkan dari permukaan. Suhu permukaan berasal dari energi yang dipancarkan dari permukaan. Sensor satelit yang digunakan dalam pendeteksian adalah sensor *thermal infrared* (Effendi et al., 2007).

Land Surface Temperature (LST) adalah suhu permukaan yang disebabkan oleh radiasi panas dari permukaan suatu objek yang dapat mempengaruhi suhu yang ditangkap oleh citra satelit pada waktu tertentu (Aditiyanti, Sabri, & Sasmito, 2013). Pada lahan terbuka, suhu permukaan adalah suhu tanah. Daerah dengan vegetasi yang rapat, suhu permukaan adalah suhu permukaan pada kanopi vegetasi. Sebaliknya, pada daerah dengan kerapatan vegetasi rendah suhu permukaan yang dihasilkan adalah rata-rata dari suhu vegetasi dan suhu tanah (Oke, 1987). Suhu permukaan berbeda pada tiap jenis dan luasan tutupan lahan di suatu wilayah (Wiweka, 2014). Analisis suhu permukaan dapat digunakan untuk menganalisis fenomena UHI. Suhu permukaan dapat diidentifikasi dengan teknologi penginderaan jauh melalui citra satelit yang memiliki sensor thermal seperti Landsat 5 TM dan Landsat 8 OLI. Radiasi gelombang pendek dan albedo objek yang ditangkap, diperkirakan dari nilai radiasi spektral yang diperoleh dari nilai digital. Menurut Wicahyani et al., (2014), albedo adalah rasio sinar matahari yang mengenai suatu permukaan terhadap sinar matahari yang dipantulkan kembali ke atmosfer.

2.3 HUBUNGAN SUHU PERMUKAAN LAHAN TERHADAP KERAPATAN VEGETASI

Fenomena UHI umumnya terjadi akibat kawasan perkotaan mengalami perubahan lahan bervegetasi menjadi lahan terbangun yang tinggi. Perubahan lahan tersebut sejalan dengan tingginya permintaan lahan untuk aktivitas masyarakat perkotaan. Hal tersebut mengakibatkan lahan-lahan yang berfungsi sebagai penghijauan atau vegetasi semakin menurun. Menurut penelitian Putra et al., (2018), terdapat hubungan yang bernilai negatif antara fenomena UHI dengan karakteristik lahan bervegetasi dan lahan berair. Umumnya hal ini ditunjukkan melalui indeks NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Pada indeks NDVI, wilayah dengan kerapatan vegetasi tinggi memiliki nilai LST yang rendah. Hal tersebut berkaitan dengan sebaran radiasi matahari yang diterima pada tutupan lahan bervegetasi berbeda dengan tutupan lahan terbangun.

Menurut penelitian Fatimah (2012) suhu permukaan lahan berhubungan negatif dengan kerapatan vegetasi. Terdapat hubungan terbalik antara NDVI dengan suhu permukaan yang ditunjukkan dengan tanda minus (-) pada koefisien regresi (Aditiyanti et al., 2013). Kerapatan vegetasi ditunjukkan dengan nilai indeks NDVI dan kerapatan bangunan ditunjukkan dengan nilai indeks NDBI (*Normalized Difference Building Index*). Semakin tinggi suhu permukaan, semakin tinggi kerapatan bangunan. Semakin rendah suhu permukaan, semakin tinggi kerapatan vegetasinya. Suhu permukaan pertanian lahan basah menunjukkan nilai lebih rendah dibandingkan suhu permukaan pertanian lahan kering. Fenomena UHI terjadi ketika sebagian vegetasi diganti dengan aspal atau beton untuk jalan, bangunan, dan struktur lain yang diperlukan untuk menampung populasi yang terus bertambah (Khomarudin, 2010). Permukaan tanah yang digantikan oleh beton menyerap dan memantulkan panas matahari lebih banyak sehingga meningkatkan suhu permukaan dan lingkungan. Mengganti semak dan pepohonan dapat mengurangi jumlah tempat berteduh serta pertukaran udara melalui evapotranspirasi sehingga mengurangi tingkat kelembaban udara perkotaan.

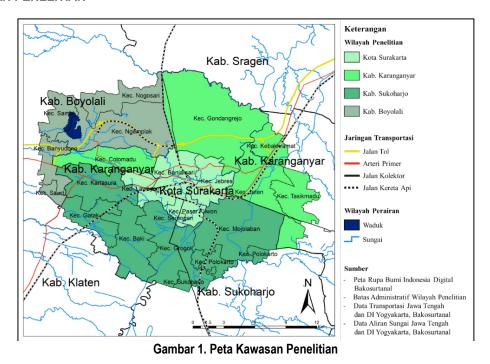
2.4 HUBUNGAN SUHU PERMUKAAN LAHAN TERHADAP KERAPATAN BANGUNAN

Seiring perkembangan pembangunan kota, kawasan hijau (vegetasi) semakin berkurang dan cenderung menjadi area permukiman. Area terbangun akan menyerap dan memantulkan lebih banyak panas matahari sehingga menyebabkan peningkatan fenomena UHI di perkotaan. Studi Sobirin & Fatimah (Sobirin & Fatimah, 2015) menunjukkan hubungan positif antara suhu permukaan dan kerapatan bangunan. Semakin padat kota, semakin tinggi suhu permukaannya. Wilayah pinggiran kota yang memiliki kerapatan vegetasi tinggi dan kerapatan bangunan rendah memiliki suhu permukaan yang lebih rendah dibandingkan pusat kota.

Kerapatan bangunan ditunjukkan melalui indeks NDBI, yaitu *Normalized Difference Building Index*. Semakin tinggi nilai indeks NDBI maka semakin tinggi nilai suhu permukaan lahannya. Hal ini telah dibuktikan dalam penelitian (Handayani, Sasmito, & Putra, 2017). Hasil uji regresi menunjukkan adanya korelasi antara suhu permukaan dengan indeks NBDI. Hubungan ini berbanding lurus dengan suhu permukaan dan indeks NDBI selama empat tahun penelitian. Dengan demikian, suhu permukaan akan meningkat seiring dengan kerapatan bangunan yang bertambah.

3. METODE PENELITIAN

3.1 KAWASAN PENELITIAN



Kawasan penelitian berlokasi di kawasan aglomerasi perkotaan Surakarta. Kawasan aglomerasi perkotaan Surakarta yang dimaksud ialah Kota Surakarta beserta dengan wilayah hinterland-nya yaitu wilayah yang berbatasan langsung dengan Kota Surakarta. Wilayah hinterland Kota Surakarta antara lain Kecamatan Jaten, Kecamatan Mojolaban, Kecamatan Grogol, Kecamatan Baki, Kecamatan Kartasura, Kecamatan Colomadu, Kecamatan Ngemplak, dan

Kecamatan Gondangrejo yang dipilih sebagai acuan fungsional fisik aglomerasi perkotaan. Guna membatasi wilayah penelitian, digunakan pendekatan aglomerasi perkotaan yang mengacu pada fisik perkotaan, yaitu lahan terbangun. Acuan yang digunakan dalam penelitian ini adalah wilayah kecamatan yang berbatasan langsung dengan Kota Surakarta yang membentuk sebuah aglomerasi perkotaan secara fisik dan dihubungkan dengan jalur transportasi. Akan tetapi, batas wilayah penelitian tidak dibatasi dengan batas administratif, melainkan menggunakan batasan fisik perkotaan berupa lahan terbangun yang ditambahkan beberapa wilayah sekitarnya. Hal ini dimaksudkan karena penelitian terkait UHI diperlukan lahan bukan terbangun untuk melihat degradasi suhu serta dapat menampilkan fenomena pulau panas yang terjadi pada perkotaan. Wilayah penelitian dapat dilihat di Gambar 1.

3.2 ANALISIS PERUBAHAN KERAPATAN VEGETASI (NDVI)

Tingkat kerapatan vegetasi dapat diidentifikasi melalui indeks NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), yaitu pengolahan data citra landsat dengan kombinasi band *Near Infrared* atau inframerah dekat (NIR) dan band merah (RED). Band NIR berfungsi untuk menganalisis kenampakan biomassa vegetasi pada citra landsat, yaitu dengan memperkuat perbedaan kenampakan antara wilayah vegetasi dan perairan. Kombinasi band NIR dengan band RED dimaksudkan untuk menajamkan kontras antarkelas vegetasi sehingga mempermudah dalam proses identifikasi. Perhitungan nilai NDVI menggunakan rumus berikut.

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

Keterangan:

NDVI = Nilai indeks kerapatan vegetasi NIR = Nilai reflektan band *near infrared*

RED = Nilai reflektan band red

Kerapatan vegetasi yang diolah dari citra landsat memiliki rentang nilai -1 hingga 1 yang mewakili masing-masing tingkat kerapatan vegetasi. Klasifikasi kelas NDVI dibagi menjadi lima kelas. Kelas I dengan nilai berkisar antara -1 hingga - 0,03 adalah kelas lahan tidak bervegetasi; Kelas II dengan nilai berkisar antara -0,03 sampai dengan 0,15 merupakan kelas kehijauan sangat rendah; Kelas III dengan nilai berkisar antara 0,15 sampai 0,25, yaitu kelas kehijauan rendah; Kelas IV dengan nilai berkisar antara 0,25 sampai dengan 0,35, yaitu kelas kehijauan sedang; dan terakhir Kelas V dengan nilai berkisar antara 0,35 sampai dengan 1, yaitu kelas kehijauan tinggi Wahyunto dalam Andini et al., (2018).

3.3 ANALISIS PERUBAHAN KERAPATAN BANGUNAN (NDBI)

Tingkat kerapatan bangunan dapat diidentifikasi melalui indeks NDBI (*Normalized Difference Building Index*), yaitu pengolahan data citra landsat dengan kombinasi band inframerah dekat (*shortwave infrared*/ SWIR) dan band inframerah dekat (NIR). Band SWIR berfungsi untuk menganalisis kenampakan tanah, batuan, dan geologi. Kombinasi band SWIR dengan band NIR dimaksudkan untuk mempertajam kontras antara kenampakan bangunan dengan non bangunan sehingga mempermudah dalam proses identifikasi. Perhitungan nilai NDBI menurut (Zha, Gao, & Ni, 2003) menggunakan rumus berikut.

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

Keterangan:

NDBI = Nilai indeks kerapatan bangunan

SWIR = Nilai reflektan band shortwave infrared

NIR = Nilai reflektan band near infrared

Kerapatan bangunan yang diolah dari citra landsat memiliki rentang nilai -1 hingga 1 yang mewakili masing-masing tingkat kerapatan bangunan. Klasifikasi kelas NDBI dibagi menjadi empat kelas: Kelas I dengan nilai berkisar antara -1 hingga 0 merupakan kelas non terbangun; Kelas II dengan nilai berkisan antara 0 sampai dengan 0,1 merupakan kelas kerapatan bangunan rendah; Kelas III dengan nilai berkisar antara 0,1 sampai dengan 0,2 merupakan kelas kerapatan bangunan sedang; dan Kelas IV dengan nilai lebih dari 0,2 merupakan kelas kerapatan bangunan tinggi (Handayani et al., 2017).

3.4 ANALISIS PERUBAHAN SUHU PERMUKAAN LAHAN

Perubahan suhu permukaan lahan dilakukan dengan metode *Land Surface Temperature* (LST), yaitu melalui gelombang *thermal*. Informasi citra landsat yang digunakan dalam analisis terkait fenomena UHI dijelaskan pada Tabel 1. Terdapat lima langkah dalam menganalisis LST, sebagai berikut.

Tabel 1. Informasi Citra Lansat untuk Analisis Data

No	Tahun	Citra Satelit	Perekaman	Band	RMB	RAB	K 1	K2
1	2000	Landsat 5 TM	6 Juni 2000	6	$5,5375 \times 10^{-2}$	1,18243	607,76	1260,56
2	2013	Landsat 8 OLI	19 Juli 2013	10	$3,3420 \times 10^{-4}$	0.1	774.8853	1321.0789
3	2021	Landsat 8 OLI	25 Juli 2021	10	$3,3420 \times 10^{-4}$	0.1	774.8853	1321.0789

Sumber: Metadata File Citra Landsat, USGS

a. Perhitungan TOA (*Top of Atmosphere*) Radiance melalui konversi dari *Digital Number*, Landsat 5 TM sensor termal terdapat pada Band 6 sedangkan Landsat 8 OLI terdapat pada Band 10.

$$L\lambda = ML Qcal + AL$$

Keterangan:

Lλ = TOA Spectral Radiance (dalam satuan Watts/ m² * srad * μm))

ML = Nilai Radiance Multi Band (RMB)
Qcal = Nilai Digital Number Citra Landsat
AL = Nilai Radiance Add Band (RAB)

b. Mengubah TOA *Radiance* menjadi *Brightness Temperature* dalam Temperatur Kelvin. Pada tahap ini, perhitungan memanfaatkan sensor TIRS pada citra landsat.

$$TB = \frac{K2}{Ln\left(\left(\frac{K1}{L\lambda}\right) + 1\right)}$$

Keterangan:

TB = Brightness Temperature (dalam Kelvin)

- c. Menghitung indeks vegetasi (NDVI)
- d. Menghitung nilai proporsi vegetasi (PV) dan nilai emisivitas

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

Nilai NDVImin dan NDVImax didapatkan melalui perhitungan pada tahap sebelumnya. Kemudian dilanjutkan dengan menghitung nilai emisivitas, dengan persamaan sebagai berikut.

$$\boldsymbol{\mathcal{E}} = \boldsymbol{0}, \, \boldsymbol{004PV} + \boldsymbol{0}, \, \boldsymbol{0986}$$

e. Konversi nilai suhu satelit menjadi nilai suhu permukaan (LST) dalam celcius dengan rumus berikut.

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

Keterangan:

LST = Suhu Permukaan (Celcius)

 T_B = Brightness Temperature Satelit (Kelvin)

α = Panjang gelombang emisi radian α = Berasal dari hc/σ = 14388 μmK

ε = emisivitas

3.5 ANALISIS HUBUNGAN PERUBAHAN NDVI DAN NDBI TERHADAP PERUBAHAN SUHU PERMUKAAN

Teknik analisis yang digunakan, yaitu regresi linear berganda. Keseluruhan analisis tersebut dilakukan untuk mengetahui hubungan dan pengaruh nilai indeks NDVI dan NDBI terhadap perubahan suhu permukaan. Besarnya hubungan yang dihasilkan diinterpretasikan melalui model regresi linear berganda dan Tabel 2 yang dijelaskan dengan persamaan berikut:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$$

Keterangan:

Y = Variabel terikat (LST) α = Koefisien *intercept* regresi β1 – β2 = Koefisien *slope* regresi

X1 – X2 = Variabel bebas (NDVI dan NDBI)

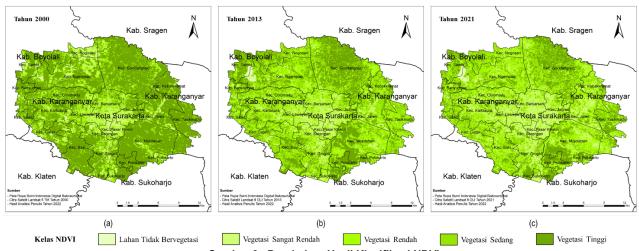
Tabel 2. Pedoman Interpretasi Koefisien Korelasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 - 0,199	Sangat Rendah
0,20-0,399	Rendah
0,40 - 0,599	Sedang
0,60 - 0,799	Kuat
0,80 - 1,00	Sangat Kuat

Sumber: Sugiyono (2008)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. ANALISIS PERUBAHAN INDEKS KERAPATAN VEGETASI



Gambar 2. Perubahan Hasil Klasifikasi NDVI

Tingkat kerapatan vegetasi dihitung dengan indeks NDVI dengan data citra landsat yang diolah menggunakan software QGIS. Semakin tinggi nilai NDVI maka semakin tinggi pula kerapatan vegetasi yang terdapat pada wilayah tersebut, berlaku juga sebaliknya. Pada tahun 2000, indeks NDVI diperoleh melalui pengolahan data Citra Landsat 5 TM dengan menggunakan data NIR band 4 dan nilai RED band 3. Dari hasil olah citra tahun 2000, diperoleh nilai minimum sebesar -0,415, nilai maksimum 0,745, nilai rata-rata 0,382 dengan standar deviasi 0,174. Sementara indeks NDVI tahun 2013 diperoleh melalui pengolahan data Citra Landsat 8 OLI menggunakan data NIR band 5 dan RED band 4. Dari hasil olah citra tahun 2013, diperoleh nilai minimum sebesar -0,209, nilai maksimum 0,617, nilai rata-rata 0,276 dengan standar deviasi 0,110. Kemudian, pada tahun 2021 indeks NDVI didapatkan melalui data Citra Landsat 8 OLI dengan menggunakan data NIR band 5 dan RED band 4. Dari hasil olah citra tahun 2021, diperoleh nilai minimum sebesar -0,126, nilai maksimum 0,601, nilai rata-rata 0,247 dengan standar deviasi 0,109. Peta kerapatan vegetasi aglomerasi perkotaan Surakarta dapat dilihat pada Gambar 2.

Pada Gambar 2, dapat dilihat bahwa semakin pekat warna hijau, maka semakin tinggi pula tingkat kerapatan vegetasi. Pada tahun 2000, kerapatan vegetasi yang berwarna hijau pekat hampir mendominasi keseluruhan wilayah aglomerasi perkotaan Surakarta. Sementara itu, lahan vegetasi sangat rendah yang dapat merepresentasikan wilayah perkotaan sangat sedikit. Kelas ini terkonsentrasi pada Kota Surakarta dan juga terdapat pada wilayah sekitar Kota Surakarta, yaitu menjalar mengikuti jalur transportasi utama. Oleh karena itu, dapat terlihat bahwa perkembangan aglomerasi perkotaan Surakarta menjalar mengikuti jalur transportasi utama. Berbeda dengan tahun 2000, pada tahun 2021 kerapatan vegetasi tinggi mengalami penurunan yang signifikan. Kerapatan vegetasi semula tersebar pada seluruh wilayah aglomerasi perkotaan Surakarta tetapi pada tahun 2021 hanya terlihat terpusat pada Kecamatan Gondangrejo dan bagian selatan Kecamatan Mojolaban. Kerapatan lahan vegetasi sangat rendah merepresentasikan wilayah perkotaan mulai menyebar dan meluas ke seluruh wilayah aglomerasi perkotaan Surakarta. Perubahan luas kerapatan vegetasi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perubahan Luas Kerapatan Vegetasi

Karanatan Vagatasi	Luasan I	Kerapatan Veg	etasi (km²)	Perubahan Luasan Kerapatan Vegetasi (km²)			
Kerapatan Vegetasi	2000	2013	2021	Δ2000-2013	Δ2013-2021	Δ2000-2021	
Lahan Tidak Bervegetasi	2.87	2.09	1.90	-0.78	-0.19	-0.97	
Vegetasi Sangat	44.04	53.56	84.72	9.52	31.16	40.68	
Rendah							
Vegetasi Rendah	48.15	107.76	116.93	59.61	9.17	68.78	
Vegetasi Sedang	59.51	115.20	106.63	55.68	-8.56	47.12	
Vegetasi Tinggi	240.47	116.42	84.83	-124.05	-31.59	-155.64	

Berdasarkan Tabel 3, pada tahun 2000 luasan kerapatan vegetasi yang mendominasi terletak pada kelas lahan vegetasi tinggi. Luasan kerapatan vegetasi tinggi pada tahun 2000 menunjukkan angka 240,47 km², menurun menjadi seluas 116,42 km² pada tahun 2013, hingga terus menurun menjadi 84,83 km² pada tahun 2021. Secara keseluruhan, penurunan luasan yang terhitung dari tahun 2000 hingga tahun 2021 seluas 155,64 km². Hal tersebut dikarenakan perkembangan perkotaan semakin meningkat sehingga permintaan kebutuhan lahan juga semakin meningkat. Dengan peningkatan kebutuhan lahan yang meningkat, maka terjadi konversi lahan yang sebelumnya tidak terbangun menjadi lahan terbangun. Hal tersebut dapat terlihat pada kelas lahan vegetasi sangat rendah yang dapat merepresentasikan wilayah perkotaan.

Pada kelas lahan vegetasi sangat rendah, mengalami tren peningkatan luasan tiap tahunnya. Hal ini dikarenakan kelas ini dapat merepresentasikan wilayah perkotaan yang semakin meluas. Pada tahun 2000 tercatat luasan kelas vegetasi sangat rendah sebesar 44,04 km², meningkat pada tahun 2013 sebesar 53,56 km², dan kembali meningkat pada tahun 2021 sebesar 84,72 km². Dengan demikian, peningkatan antara tahun 2000 hingga tahun 2021 terhitung sebesar 40,68 km². Hal ini sejalan dengan perluasan lahan perkotaan sebagai dampak kebutuhan lahan untuk memenuhi aktivitas masyarakat perkotaan. Luasan tersebut akan diilustrasikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Perubahan Kerapatan Vegetasi Aglomerasi Perkotaan Surakarta

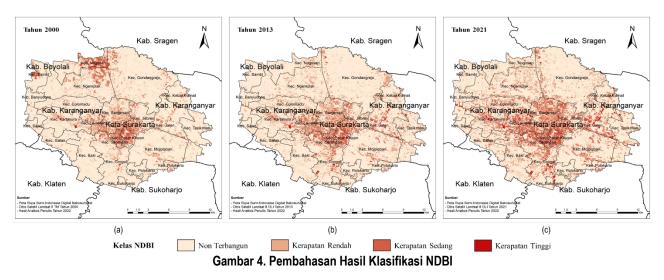
4.2. PERUBAHAN INDEKS KERAPATAN BANGUNAN

Tingkat kerapatan bangunan dihitung dengan indeks NDBI dengan data citra landsat yang diolah menggunakan software QGIS. Semakin tinggi nilai NDBI, semakin tinggi pula kerapatan bangunan yang terdapat pada wilayah tersebut, berlaku juga sebaliknya. Indeks NDBI tahun 2000 diperoleh melalui pengolahan data Citra Landsat 5 TM dengan menggunakan data SWIR dan NIR. Pada Citra Landsat 5 TM, SWIR merupakan band 5 dan NIR adalah band 4. Dari hasil pengolahan NDBI pada tahun 2000, didapatkan nilai minimum sebesar -0,820, nilai maksimum 0,366, nilai rata-rata -0,155

dengan standar deviasi 0,154. Untuk tahun 2013, data diperoleh melalui pengolahan data Citra Landsat 8 OLI dengan menggunakan data SWIR band 6 dan NIR band 5. Dari hasil pengolahan NDBI pada tahun 2013, diperoleh nilai minimum sebesar -0,698, nilai maksimum 1, nilai rata-rata -0,138 dengan standar deviasi 0,145. Untuk tahun 2021, indeks NDBI diperoleh melalui pengolahan data Citra Landsat 8 OLI dengan menggunakan data SWIR band 6 dan NIR band 5. Dari hasil pengolahan NDBI pada tahun 2021 diperoleh nilai minimum sebesar -0,729, nilai maksimum 0,461, nilai rata-rata -0,111 dengan standar deviasi 0,159. Peta persebaran hasil klasifikasi NDBI dapat dilihat pada Gambar 4.

Pada Gambar 4, warna merah pekat menunjukkan kerapatan bangunan yang tinggi. Semakin pekat warna merah semakin tinggi pula tingkat kerapatan bangunannya. Pada tahun 2000 (Gambar 4. (a)), wilayah dengan kerapatan bangunan rendah, sedang, dan tinggi teridentifikasi pada wilayah kota inti Kota Surakarta serta Kecamatan Kartasura, Kecamatan Grogol, dan Kecamatan Jaten. Wilayah tersebut merupakan wilayah perkotaan yang terletak pada jalur utama transportasi yang melalui wilayah aglomerasi perkotaan Surakarta. Sementara itu, wilayah dengan kerapatan bangunan non terbangun teridentifikasi pada wilayah pinggiran timur dan barat daya Kota Surakarta. Wilayah tersebut meliputi Kecamatan Jaten, Kecamatan Tasikmadu, Kecamatan Mojolaban, dan Kecamatan Baki. Pada tahun 2013 (Gambar 4. (b)) kelas NDBI nonterbangun mendominasi keseluruhan wilayah aglomerasi perkotaan Surakarta. Selain itu, kerapatan bangunan rendah terpusat di Kota Surakarta, hal ini dapat meliputi bangunan seperti permukiman dan perdagangan dan jasa. Kerapatan bangunan sedang terdapat pada wilayah di luar Kota Surakarta, hal ini dapat meliputi perdagangan dan jasa serta kawasan perindustrian. Sementara itu, kerapatan bangunan tinggi, yaitu meliputi kawasan perindustrian terletak pada Kecamatan Jaten dan Kecamatan Kartasura. Sementara pada tahun 2021 (Gambar 4. (c)), kelas NDBI nonterbangun mendominasi keseluruhan wilayah aglomerasi perkotaan Surakarta. Selain itu, kerapatan bangunan rendah terpusat di Kota Surakarta dan mulai menyebar pada wilayah sekitarnya yang berbatasan langsung, yang dapat meliputi bangunan seperti permukiman dan perdagangan dan jasa. Kerapatan bangunan sedang terdapat pada wilayah di dalam maupun luar Kota Surakarta, yang dapat meliputi perdagangan dan jasa dengan gedung bertingkat serta kawasan perindustrian. Sementara itu, kerapatan bangunan tinggi meliputi kawasan perindustrian terletak pada Kecamatan Jaten, Kecamatan Kartasura, dan Kecamatan Grogol.

Dapat dilihat pada peta perubahan hasil klasifikasi NDBI (Gambar 4), pada tahun 2000 dan 2021 kerapatan bangunan kelas nonterbangun mendominasi keseluruhan wilayah. Arah perkembangan atau pola perubahannya dapat terlihat terdapat pertambahan luasan pada kelas kerapatan bangunan rendah, yaitu meliputi kawasan permukiman. Perkembangan tersebut menjalar mengikuti jalur transportasi utama. Kecamatan Colomadu, Kecamatan Kartasura, Kecamatan Baki, Kecamatan Grogol, dan Kecamatan Jaten terlihat mengalami perkembangan luasan kelas kerapatan bangunan. Perubahan luas kerapatan bangunan aglomerasi perkotaan Surakarta dapat dilihat pada Tabel 4.



Berdasarkan Tabel 4, dapat dilihat bahwa perubahan tertinggi terjadi pada kelas kerapatan bangunan nonterbangun, yaitu sebesar 38,93 km² yang terdistribusi menjadi kelas kerapatan bangunan baik rendah, sedang, maupun tinggi. Perubahan luasan tertinggi kedua terdapat pada kelas kerapatan bangunan sedang, yaitu sebesar 20,77 km². Selain itu, tidak terdapat kelas kerapatan bangunan lain yang berubah cukup signifikan terhadap. Luasan tersebut diilustrasikan pada Gambar 5.

Tabel 4. Perubahan Luas Kerapatan Bangunan Aglomerasi Perkotaan Surakarta

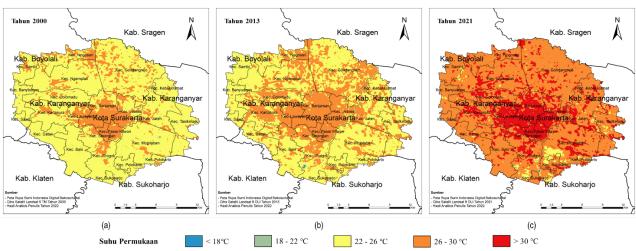
Karanatan Pangunan	Luasan K	erapatan Bang	unan (km²)	Perubahan Luasan Kerapatan Bangunan (km²)			
Kerapatan Bangunan	2000	2013	2021	Δ2000-2013	Δ2013-2021	Δ2000-2021	
Non Terbangun	330.63	321.23	291.70	-9.4	-29.53	-38.93	
Kerapatan Bangunan Rendah	45.32	50.35	59.52	5.03	9.17	14.2	
Kerapatan Bangunan Sedang	18.22	21.41	38.99	3.19	17.58	20.77	
Kerapatan Bangunan Tinggi	0.89	2.07	4.84	1.18	2.77	3.95	



Gambar 5. Grafik Perubahan Kerapatan Bangunan Aglomerasi Perkotaan Surakarta

4.3. PERUBAHAN SUHU PERMUKAAN LAHAN

Suhu permukaan aglomerasi perkotaan Surakarta tahun 2000 dihasilkan dengan memanfaatkan band 5 *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) yang dimiliki oleh Citra Landsat 5 TM. Berdasarkan pengolahan tersebut, diperoleh hasil bahwa suhu permukaan terendah sebesar 17,02°C, suhu permukaan tertinggi sebesar 30,42°C, dan suhu permukaan rata-rata sebesar 24,88°C. Suhu permukaan lahan tahun 2013 dihasilkan dari pengolahan Citra Landsat 8 OLI dengan menggunakan band 8 TIRS. Berdasarkan pengolahan tersebut, diperoleh bahwa suhu permukaan terendah sebesar 15°C, suhu permukaan tertinggi sebesar 31,71°C, dan suhu permukaan rata-rata diperoleh sebesar 25,7°C. Suhu permukaan tahun 2021 dihasilkan dari pengolahan band 8 TIRS pada Citra Landsat 8 OLI. Berdasarkan pengolahan tersebut, diperoleh suhu permukaan terendah senilai 13,33°C, suhu permukaan tertinggi senilai 34,65°C, dan suhu permukaan rata-rata tahun 2021 senilai 28,92°C. Sebaran suhu permukaan lahan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Perubahan Suhu Permukaan Aglomerasi Perkotaan Surakarta

Berdasarkan Gambar 6 (a), pada tahun 2000 sebaran suhu permukaan rendah terkonsentrasi pada bagian timur dan selatan, di luar Kota Surakarta. Hal tersebut dikarenakan pada wilayah tersebut terdapat tutupan lahan yang mampu menyerap suhu permukaan berupa pertanian dan vegetasi berkanopi, serta relatif tidak terdapat lahan terbangun. Suhu permukaan rendah ini tersebar pada Kecamatan Kebakkramat, Kecamatan Tasikmadu, Kecamatan Jaten, Kecamatan Mojolaban, Kecamatan Polokarto, Kecamatan Grogol, Kecamatan Baki, dan Kecamatan Gatak. Kawasan suhu permukaan relatif tinggi dicerminkan dengan distribusi warna jingga dan terkonsentrasi pada wilayah perkotaan dengan pola yang cukup mencolok, yaitu pada wilayah perkotaan seperti Kota Surakarta, perkotaan Kecamatan Kartasura, perkotaan Kecamatan Grogol, dan Bandara Adi Soemarmo di Kecamatan Ngemplak. Kawasan tersebut merupakan

kawasan dengan dominasi tutupan lahan terbangun. Lahan terbangun yang dimaksud meliputi permukiman, perdagangan dan jasa, bandara, serta perindustrian.

Berdasarkan Gambar 6. (b), kenampakan suhu permukaan tinggi terpusat di Kota Surakarta. Kawasan suhu permukaan tinggi digambarkan dengan distribusi warna jingga yang semakin meluas dan tersebar di wilayah aglomerasi perkotaan Surakarta. Kawasan suhu permukaan tinggi juga terdapat pada Bandara Adi Soemarmo Kecamatan Ngemplak dan meluas di Kecamatan Colomadu, Kecamatan Kartasura, dan Kecamatan Grogol. Hal tersebut dikarenakan perkembangan perkotaan dengan alih fungsi lahan menjadi lahan terbangun. Pada Kecamatan Colomadu, meluasnya kawasan suhu permukaan tinggi diakibatkan oleh peningkatan lahan permukiman karena Kecamatan Colomadu merupakan salah satu wilayah pelayanan permukiman Kota Surakarta. Hal serupa juga terjadi pada Kecamatan Grogol dan Kecamatan Kartasura. Sementara itu, kawasan suhu permukaan rendah terkonsentrasi pada bagian tenggara dan barat daya, dimana banyak ditemukan tutupan lahan yang bersifat menyerap panas dan mampu mendinginkan suhu permukaan seperti pertanian, vegetasi, dan badan air.

Berdasarkan Gambar 6. (c), suhu permukaan tinggi terkonsentrasi di Kota Surakarta dan wilayah yang berbatasan langsung dengan Kota Surakarta. Suhu permukaan tinggi meluas dibanding pada tahun 2013, yaitu pada Kecamatan Ngemplak, Kecamatan Colomadu, Kecamatan Kartasura, Kecamatan Grogol, Kecamatan Mojolaban, dan Kecamatan Jaten, yang diakibatkan semakin berkembangnya wilayah perkotaan. Suhu permukaan tinggi semakin meluas pada area perkotaan, khususnya yang dilalui jalur transportasi utama. Kenaikan suhu permukaan pada Kecamatan Colomadu, Kecamatan Grogol, dan Kecamatan Jaten diakibatkan oleh peningkatan lahan permukiman guna memenuhi kebutuhan papan masyarakat. Selain itu, kenaikan suhu permukaan juga terjadi pada Kecamatan Kartasura, dimana menurut RTRW Kabupaten Sukoharjo, Kecamatan Kartasura merupakan Kawasan Strategis Cepat Tumbuh (KSCT) sehingga perkembangan perkotaan di Kecamatan Kartasura semakin meningkatkan suhu permukaan di wilayah tersebut. Suhu permukaan rendah tersebar pada Kecamatan Tasikmadu, Kecamatan Mojolaban, dan bagian selatan Kecamatan Baki. Pada suhu permukaan rendah, seringkali ditemukan tutupan lahan berupa pertanian dan badan air yang bersifat mendinginkan suhu permukaan di sekitarnya.

Secara keseluruhan dalam kurun waktu 21 tahun, terlihat bahwa suhu permukaan mengalami peningkatan. Banyak wilayah yang mengalami peningkatan kelas suhu permukaan, dari suhu permukaan awal pada tahun 2000 berada pada kelas suhu permukaan 22-26°C, meningkat pada tahun 2021 menjadi kelas suhu permukaan 26-30°C. Pada tahun 2021 hampir tidak ada suhu permukaan yang berada pada kelas 18-22°C. Hal ini terlihat dari perubahan warna yang ditampilkan pada peta. Warna merah menunjukkan suhu permukaan di atas 30°C, terkonsentrasi pada Kota Surakarta. Peningkatan suhu permukaan di wilayah Kota Surakarta diakibatkan oleh peningkatan aktivitas masyarakat dalam memenuhi kebutuhan. Selain itu, terdapat peningkatan suhu permukaan pada Bandara Adi Soemarmo Surakarta yang diasosiasikan dengan aktivitas penerbangan yang kian meningkat pada tahun 2021 dibandingkan tahun 2000. Peningkatan suhu permukaan, selain dikarenakan oleh peningkatan aktivitas masyarakat, juga terkait dengan peningkatan lahan terbangun pada tiap tahunnya yang tidak diimbangi dengan peningkatan lahan bervegetasi sebagai peneduh dalam wilayah perkotaan.

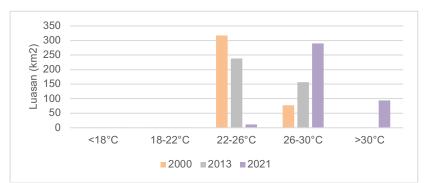
Tabel 5. Perubahan Luas Kelas Suhu

Kelas Suhu	Luasan Kelas Suhu (km²)			Perubahan Luasan Kelas Suhu (km²)					
Neias Sullu	2000	2013	2021	Δ2000-2013	Δ2013-2021	Δ2000-2021			
<18°C	0.009	0.072	0.062	0.063	-0.01	0.053			
18-22°C	0.638	0.549	0.317	-0.089	-0.232	-0.321			
22-26°C	317.334	237.54	11.352	-79.794	-226.188	-305.982			
26-30°C	77.073	156.82	289.685	79.747	132.865	212.612			
>30°C	0	0.078	93.64	0.078	93.562	93.64			

Suhu permukaan kelas 22-26°C mengalami penurunan luasan tertinggi selama rentang tahun 2000-2021, yaitu sebesar 305,98 km² dari semula seluas 317,33 km² menjadi 11,35 km². Kelas suhu permukaan tersebut dianggap merupakan suhu permukaan rendah pada perkotaan. Perubahan tersebut terjadi di sebagian besar wilayah aglomerasi perkotaan Surakarta. Pada tahun 2021, kelas suhu permukaan ini hanya terdapat pada bagian selatan Kecamatan Mojolaban, bagian selatan Kecamatan Grogol, dan bagian barat Kecamatan Ngemplak, dimana wilayah tersebut memiliki tutupan lahan berupa lahan pertanian dan badan air seperti Waduk Cengklik.

Suhu permukaan kelas 26-30°C mengalami peningkatan luasan yang signifikan dan tertinggi selama rentang tahun 2000-2021, yaitu sebesar 212,61 km2, dari awalnya sebesar 77,07 km² menjadi 289,68 km². Kelas suhu permukaan

tersebut dianggap merupakan suhu permukaan normal pada wilayah perkotaan. Perubahan tersebut terjadi pada sebagian besar wilayah aglomerasi perkotaan Surakarta. Hampir keseluruhan wilayah studi termasuk ke dalam kelas suhu permukaan tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan iklim mikro perkotaan terjadi pada wilayah perkotaan Surakarta dan menjadikan suhu permukaan semakin meningkat dalam kurun waktu 21 tahun terakhir.



Gambar 7. Grafik Perubahan Suhu Permukaan Aglomerasi Perkotaan Surakarta

Suhu permukaan kelas tertinggi berada di atas 30°C. Kelas suhu permukaan tertinggi ini juga mengalami kenaikan luasan secara signifikan selama rentang tahun 2000-2021. Kenaikan luasan tercatat sekitar 93,64 km² dari yang semula tidak ada wilayah yang termasuk dalam kelas suhu permukaan tersebut pada tahun 2000. Perubahan tersebut terjadi pada wilayah perkotaan Surakarta, terutama terjadi pada wilayah terbangun, terkonsentrasi pada Kota Surakarta dan wilayah sekitarnya seperti Kecamatan Kartasura, Kecamatan Colomadu, Kecamatan Grogol, dan Kecamatan Jaten. Hal ini semakin menunjukkan bahwa perubahan iklim mikro perkotaan Surakarta semakin meningkat dalam kurun waktu 21 terakhir. Gambaran perubahan suhu wilayah aglomerasi perkotaan Surakarta dapat dilihat pada grafik berikut (Gambar 7).

4.4. ANALISIS HUBUNGAN PERUBAHAN KERAPATAN VEGETASI DAN KERAPATAN BANGUNAN TERHADAP SUHU PERMUKAAN LAHAN

Hubungan kerapatan vegetasi dengan suhu permukaan ditunjukkan menggunakan analisis deskriptif kuantitatif dengan metode regresi linear berganda. Hasil analisis regresi linear berganda pada kerapatan vegetasi dan kerapatan bangunan dengan suhu permukaan ditampilkan pada Tabel 6.

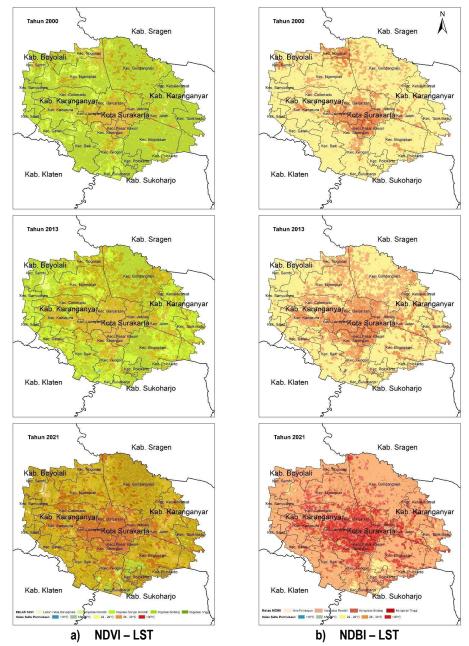
Tabel 6. Output Regresi Line	Tabel 6. Output Regresi Linear Berganda NDVI dan NDBI dengan Suhu Permukaan							
Model	Karalasi Daaraan (D)	Koefisien Determinasi						
Wodei	Korelasi Pearson (R)	R Square (R2)	Persentase (%)					
Regresi Linear Berganda	0,550	0,302	30,2%					

Tabel 6 menjelaskan besarnya nilai korelasi atau hubungan (R) yang didapat dari analisis korelasi Pearson. Nilai tersebut menyatakan derajat hubungan antara variabel bebas kerapatan vegetasi dan kerapatan bangunan terkait suhu permukaan. Berdasarkan perhitungan, didapatkan koefisien korelasi sebesar 0,550. Menurut pedoman interpretasi terhadap koefisien korelasi (Sugiyono, 2008), koefisien korelasi tersebut berada pada interval 0,400 – 0,599 dimana variabel bebas kerapatan vegetasi dan kerapatan bangunan memiliki hubungan yang sedang terhadap variabel terikat suhu permukaan. Selain itu, dikenal pula koefisien determinasi, yaitu tingkat pengaruh kerapatan vegetasi terhadap suhu permukaan. Berdasarkan Tabel 6, didapatkan koefisien determinasi sebesar 0,302. Hal tersebut menunjukkan pengaruh kerapatan vegetasi (NDVI) dan kerapatan bangunan (NDBI) terhadap suhu permukaan sebesar 30,2%.

Tabel 7 menunjukkan hasil uji *t-test parsial* untuk mengetahui ada tidaknya hubungan NDVI dan NDBI terhadap suhu permukaan. Interval penerimaan nilai t hitung sama, yaitu -1,968 < t hitung < 1,968. Berdasarkan hasil perhitungan di atas, nilai t hitung untuk NDVI adalah sebesar -6,146; karena t hitung < -t tabel atau -6,146 < -1,968 maka H₀ ditolak sehingga terdapat hubungan dan pengaruh NDVI dengan perubahan suhu permukaan. Didapatkan nilai Sig. sebesar 0,000; karena nilai Sig. < 0,05 berarti H₀ ditolak sehingga terdapat hubungan dan pengaruh yang nyata atau signifikan NDVI pada perubahan suhu permukaan. Di sisi lain, berdasarkan perhitungan di atas, didapatkan nilai t hitung untuk NDBI sebesar 1,983. T hitung > t tabel atau 1,983 < 1,968, maka H₀ ditolak, sehingga terdapat hubungan dan pengaruh NDBI dengan perubahan suhu permukaan. Selanjutnya, didapatkan nilai Sig. sebesar 0,000. Karena nilai Sig. < 0,05 berarti H₀ ditolak sehingga terdapat hubungan dan pengaruh yang nyata atau signifikan NDBI pada perubahan suhu permukaan.

Tabel 7. Output Coefficients Regresi Linear Berganda NDVI dan NDBI dengan Suhu Permukaan

Model	Unstandardized Coefficients		Interval		t hitung	Sia	
Wiodei	В	Std. Error	-t tabel	t tabel	tillung	Sig.	
Regresi Linear Berganda	(Constant)	3,684	0,114	-	-	32,184	0.000
	NDVI	-2,814	0,458	-1,968	1,968	-6,146	0.000
	NDBI	1,090	0,550			1,983	0.048



Gambar 8. Peta Overlay NDVI dan NDBI terhadap Suhu Permukaan Aglomerasi Perkotaan Surakarta

Secara umum, rumus persamaan regresi linear berganda adalah $Y = a + b_1X_1 + b_2X_2$. Jika variabel bebas NDVI dan NDBI dari hasil perhitungan diatas dimasukkan ke dalam rumus persamaan regresi linear berganda, maka diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$Y = 3,684 - 2,814 \, NDVI + 1,090 \, NDBI$$

Koefisien a merupakan angka konstan dari *unstandardized coefficients*, yang berdasarkan hasil analisis regresi ini memiliki nilai sebesar 3,684. Koefisien b merupakan angka koefisien regresi, yang berdasarkan hasil analisis regresi ini memiliki nilai sebesar -2,814 untuk b₁ dan 1,090 untuk b₂. Karena nilai koefisien regresi NDVI bernilai minus (-), maka

dapat dikatakan bahwa NDVI berpengaruh negatif terhadap suhu permukaan. Atau dapat disimpulkan, semakin tingginya tingkat kerapatan vegetasi maka semakin menurunnya suhu permukaan. Sementara itu, nilai koefisien regresi NDBI bernilai plus (+), maka dapat dikatakan bahwa NDBI berpengaruh positif terhadap suhu permukaan. Dapat disimpulkan, semakin tingginya tingkat kerapatan bangunan maka semakin meningkatnya suhu permukaan.

Berdasarkan Gambar 8, dapat diketahui hubungan antara NDVI dan NDBI terhadap suhu permukaan dengan melakukan *overlay* peta tiap tahun penelitian. NDBI berbanding lurus terhadap suhu permukaan. Hal tersebut ditunjukkan dengan semakin bertambahnya kerapatan bangunan pada wilayah aglomerasi perkotaan Surakarta, diikuti dengan perluasan peningkatan suhu permukaan. Suhu permukaan tinggi yang semula pada tahun 2000 berpusat pada Kota Surakarta menjadi semakin meluas hingga wilayah sekitarnya pada tahun 2021. Di sisi alin, NDVI memiliki hubungan yang berbanding terbalik terhadap suhu permukaan. Hubungan antara NDVI dan suhu permukaan dibuktikan dengan penurunan kerapatan vegetasi di wilayah aglomerasi perkotaan Surakarta yang mengakibatkan peningkatan suhu permukaan yang meluas di wilayah penelitian. Berdasarkan hasil tersebut, diperlukan pengendalian ruang agar dapat meminimalisir perluasan suhu permukaan lahan yang berkesinambungan dengan fenomena *Urban Heat Island*.

4.5. KESIMPULAN

Pada wilayah aglomerasi perkotaan Surakarta dalam kurun waktu 2000 sampai 2021, terjadi penurunan kerapatan vegetasi. Hal ini terlihat dari semakin berkurangnya luasan vegetasi pada setiap kelas klasifikasi. Dari hasil analisis, diketahui bahwa luasan vegetasi tinggi mengalami penurunan hingga 155,64 km² atau sebesar 64,72%. Berbeda dengan kerapatan vegetasi, kondisi kerapatan bangunan dalam kurun waktu 21 tahun mengalami peningkatan. Berdasarkan hasil analisis, ditemukan bahwa lahan nonterbangun pada wilayah penelitian mengalami penurunan seluas 38,93 km². Luas tersebut kemudian didistribusikan menjadi kelas kerapatan bangunan rendah, sedang, maupun tinggi. Perubahan yang terjadi pada kerapatan vegetasi dan bangunan tersebut terjadi dikarenakan adanya perkembangan perkotaan yang semakin meningkat. Perkembangan perkotaan akan berdampak pada meningkatnya permintaan kebutuhan lahan sehingga terjadi konversi lahan tidak terbangun menjadi lahan terbangun. Suhu permukaan wilayah aglomerasi perkotaan Surakarta mengalami peningkatan dalam kurun waktu 2000 – 2021. Berdasarkan hasil analisis, diketahui bahwa suhu maksimum mengalami peningkatan yang cukup tinggi sebesar 4,24°C. Peningkatan suhu banyak terjadi di wilayah perkotaan Surakarta, terutama pada kawasan terbangun. Selain itu juga terjadi pada wilayah sekitarnya yang berbatasan langsung dengan Kota Surakarta.

Berdasarkan hasil analisis regresi linear berganda, perubahan kerapatan vegetasi dan bangunan pada kawasan aglomerasi perkotaan Surakarta memiliki hubungan sedang terhadap terjadinya perubahan suhu permukaan. Terjadinya perubahan kerapatan vegetasi dan bangunan memiliki pengaruh sebesar 30,2% terhadap terjadinya perubahan suhu permukaan. Jika dilihat secara terpisah menggunakan uji *t-test* parsial, diperoleh hasil perubahan NDVI dan NDBI memiliki hubungan yang signifikan terhadap terjadinya perubahan suhu permukaan pada kawasan aglomerasi perkotaan Surakarta dalam kurun waktu 21 tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditiyanti, A., Sabri, L., & Sasmito, B. (2013). Analisis Pengaruh Perubahan NDVI dan Tutupan Lahan Terhadap Suhu Permukaan di Kota Semarang. *Jurnal Geodesi Undip*, 2(3), 10–19.
- Andini, W. S., Prasetyo, Y., & Sukmono, A. (2018). Analisis Sebaran Vegetasi dengan Citra Satelit Sentinel menggunakan Metode NDVI dan Segmentasi (Studi Kasus: Kabupaten Demak). *Jurnal Geodesi Undip*, 7(1), 14–24.
- Azhura, T. (2019). Pengaruh Perubahan Penutupan Lahan Terhadap Distribusi Suhu Permukaan di Kota Bogor dengan Menggunakan Citra Satelit Landsat dan Sistem Informasi Geografis. Tesis D3, Universitas Pendidikan Indonesia.
- Becker, F., & Li, Z. L. (1990). Towards a Local Split Window Method Over Land Surfaces. *International Journal of Remote Sensing*, 11(3), 369–393. https://doi.org/10.1080/01431169008955028
- Bokaie, M., Zarkesh, M. K., Arasteh, P. D., & Hosseini, A. (2016). Assessment of Urban Heat Island Based on the Relationship between Land Surface Temperature and Land Use/Land Cover in Tehran. Sustainable Cities and Society, 23, 94–104. https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.03.009
- BPS Kota Surakarta. (2021). Kota Surakarta Dalam Angka 2021. Surakarta: Badan Pusat Statistik.
- Effendi, S., Bey, A., Zain, A. F. M., & Santosa, I. (2007). *Keterkaitan Ruang Terbuka Hijau dengan Urban Heat Island Wilayah JABOTABEK*. Institut Pertanian Bogor. Diakses dari: http://repository.ipb.ac.id:8080/handle/123456789/40861
- Fajarini, R., Barus, B., & Panuju, D. R. (2015). Dinamika Perubahan Penggunaan Lahan dan Prediksinya untuk Tahun 2025 serta Keterkaitannya dengan Perencanaan Tata Ruang 2005-2025 di Kabupaten Bogor. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, 17(1), 8–15. https://doi.org/10.29244/jitl.17.1.8-15

- Fatimah, R, N. (2012). Pola Spasial Suhu Permukaan Daratan Kota Surabaya Tahun 1994, 2000, dan 2011. Skripsi. Universitas Indonesia.
- Handayani, M. N., Sasmito, B., & Putra, A. (2017). Analisis Hubungan Antara Perubahan Suhu Dengan Indeks Kawasan Terbangun Menggunakan Citra Landsat (Studi Kasus: Kota Surakarta). *Jurnal Geodesi Undip Oktober*, *6*(4), 208–218.
- Harahap, F. R. (2013). Dampak Urbanisasi bagi Perkembangan Kota di Indonesia. Jurnal Society, I(1), 35–45.
- Khomarudin, M. (2010). Mendeteksi Pulau Panas (Heat Island) dengan Data Satelit Penginderaan Jauh. *Warta LAPAN*, 6(2), 74–81. Oke, T. R. (1987). *Boundary Layer Climates* (2nd ed.). Routledge.
- Patz, J. A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., & Foley, J. A. (2005). Impact of Regional Climate Change on Human Health. *Nature*, 438(7066), 310–317. https://doi.org/10.1038/nature04188
- Plocoste, T., Jacoby-Koaly, S., Molinié, J., & Petit, R. H. (2014). Evidence of the Effect of an Urban Heat Island on Air Quality Near a Landfill. *Urban Climate*, 10(4), 745–757. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.03.007
- Pradana, A. C., Soedwiwahjono, & Nurhadi, K. (2021). Fenomena Perubahan Penggunaan Lahan Pertanian Menjadi Perumahan: Studi Kasus Kawasan Peri-Urban Kecamatan Colomadu. *Jurnal Desa-Kota*, *3*(1), 24–35.
- Putra, M. I. J., Paramitha, N., Ayu, A., Yudiawan, A. D., Naito, K. N., Putri, M., & Pratiwi, K. (2018). Karakteristik Spasial Urban Heat Island (UHI) dengan Karakteristik Lahan di Kota Depok. Seminar Nasional Geografi dan Pembangunan Berkelanjutan,731–746. Sobirin, & Fatimah, R. N. (2015). Urban Heat Island Kota Surabaya. Geoedukasi, 4(2), 46–69.
- Sugiyono. (2008). Metode Penelitian Pendidikan: Pendekatan Kuantitatif dan Kualitatif R&D (6th ed.). Bandung: Alfabeta.
- Tran, D. X., Pla, F., Latorre-Carmona, P., Myint, S. W., Caetano, M., & Kieu, H. V. (2017). Characterizing the Relationship Between Land Use Land Cover Change and Land Surface Temperature. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 124, 119–132. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.01.001
- Tursilowati, L. (2005). Pulau Panas Perkotaan Akibat Perubahan Tata Guna dan Penutup Lahan di Bandung dan Bogor. *Jurnal Sains Dirgantara*, *3*(1), 43–64.
- Wicahyani, S., Sasongko, S. B., & Izzati, M. (2014). Pulau Bahang Kota (Urban Heat Island) di Kota Yogyakarta dan Daerah Sekitarnya Hasil Interpretasi Citra Landsat Oli-Tirs Tahun 2013. *Jurnal Geografi*, *11*(2), 196–205.
- Wiweka. (2014). Pola Suhu Permukaan dan Udara Menggunakan Citra Satelit Landsat Multitemporal. Jurnal Ecolab, 11–22.
- Wong, L. P., Alias, H., Aghamohammadi, N., Aghazadeh, S., & Nik Sulaiman, N. M. (2017). Urban Heat Island Experience, Control Measures and Health Impact: a Survey Among Working Community in the City of Kuala Lumpur. Sustainable Cities and Society, 35, 660–668. https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.09.026
- Yang, C., He, X., Yan, F., Yu, L., Bu, K., Yang, J., Chang, L., & Zhang, S. (2017). Mapping the Influence of Land Use/Land Cover Changes on the Urban Heat Island Effect-a Case Study of Changchun, China. Sustainability, 9(312). https://doi.org/10.3390/su9020312
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use Of Normalized Difference Build-Up Index in Automatically Mapping Urban Areas from TM Imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583–594. https://doi.org/10.1080/01431160304987
- Zhao, L., Lee, X., Smith, R. B., & Oleson, K. (2014). Strong Contributions of Local Background Climate to Urban Heat Islands. *Nature*, 511(7508), 216–219. https://doi.org/10.1038/nature13462