

Downscaling citra suhu permukaan lahan berbasis google earth engine untuk analisis surface urban heat island

Dimas Sekar Langit* dan Nurul Khotimah

Departemen Pendidikan Geografi, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

(*)corresponding author: dimassekar.2018@student.uny.ac.id

Submitted	:	4 May 2025
Accepted	:	14 August 2025
Published online	:	15 August 2025

Abstrak

Surface Urban Heat Island (SUHI) merupakan fenomena peningkatan suhu permukaan yang umum terjadi di wilayah perkotaan dan penting dalam perencanaan tata ruang. Kapanewon Depok, bagian dari Kawasan Perkotaan Yogyakarta, memiliki tutupan lahan beragam dan pembangunan yang dinamis, sehingga analisis SUHI membutuhkan data suhu permukaan lahan (LST) beresolusi tinggi. Penelitian ini bertujuan: (1) menyusun model downscaling citra LST dan validasinya, (2) menganalisis pola distribusi SUHI, dan (3) mengidentifikasi faktor yang memengaruhi pola spasial SUHI. Menggunakan pendekatan kuantitatif eksplanatori, data citra Landsat 8 dan Sentinel-2B tanggal 6 Juni 2024 diproses di Google Earth Engine. Teknik random proportional sampling menghasilkan 36 sampel land cover dan 108 sampel validasi. Metode downscaling statistik menggunakan variabel NDVI, NDBI, dan NDWI. Validasi model menggunakan RMSE, MAE, dan regresi linear. Analisis spasial menggunakan Indeks Moran's I. Hasil menunjukkan SUHI tersebar mengelompok dengan lahan terbangun sebagai faktor dominan. Perencanaan tata ruang perlu menambah ruang hijau demi kenyamanan termal di perkotaan. Paper ini memberikan informasi alternatif tentang implementasi Google Earth Engine untuk analisis surface urban heat island.

Kata Kunci: Downscaling, LST, Surface Urban Heat Island, Landsat 8 OLI/TIRS, Sentinel-2B.

Pendahuluan

Perubahan iklim didefinisikan sebagai perubahan jangka panjang pada pola cuaca yang terjadi di permukaan bumi (Ainurrohmah & Sudarti, 2022). Dalam beberapa dekade terakhir, aktivitas industri dan peningkatan urbanisasi telah menyebabkan kenaikan suhu global secara bertahap. Peningkatan suhu di daerah perkotaan dipicu oleh konversi lahan vegetasi menjadi area pemukiman, industri, dan komersial, sehingga kota-kota besar di Indonesia seperti Jakarta, Bandung, dan Surabaya mengalami suhu permukaan yang lebih tinggi dibandingkan daerah sekitarnya (Hermawan, 2015).

Di wilayah perkotaan, fenomena Surface Urban Heat Island (SUHI) mengacu pada kondisi suhu permukaan yang lebih tinggi di area perkotaan dibandingkan lingkungan rural sekitarnya

(Oke, 1982). Hal ini disebabkan oleh adanya permukaan kedap air, minimnya vegetasi, dan aktivitas manusia yang meningkatkan penyerapan serta pelepasan panas. Menurut Oke (1982), interaksi energi termal matahari dengan permukaan bumi menghasilkan perbedaan panas yang berbeda antara daerah kota dan desa karena perbedaan konduktivitas termal material permukaan.

Citra satelit Landsat 8 dan 9 menyediakan saluran termal (Band 10 dan 11) dengan resolusi spasial asli 100 meter yang dapat di-*resample* menjadi 30 meter menggunakan metode seperti *cubic convolution*, sehingga memungkinkan integrasi dengan saluran multispektral OLI beresolusi 30 meter untuk analisis suhu permukaan lahan (Ihlen & Zanter, 2019; Roy et al., 2014). Namun, keterbatasan resolusi asli tetap membatasi deteksi objek berukuran kecil. Untuk meningkatkan resolusi spasial data suhu, diterapkan teknik *downscaling* dengan memanfaatkan variabel prediktor dari citra resolusi tinggi seperti NDVI, NDWI, dan NDBI dari Sentinel-2 (10 m), yang diregresikan terhadap data LST dari Landsat 8 (Wilby & Wigley, 1997; Onačillová et al., 2022).

Kapanewon Depok merupakan kawasan perkotaan di DIY yang memiliki fenomena SUHI di wilayahnya. Pada penelitian Irwati et al. (2022) mendapati temuan bahwa dari 2014 hingga 2019 luasan area terdampak SUHI mengalami penurunan namun untuk suhu permukaan lahan mengalami peningkatan. Pada tahun 2014 jumlah penduduk sebesar 126.959 jiwa dengan nilai UHI sebesar 3,60 dan luas wilayah sebesar 49% dari total luas wilayah Kecamatan Depok. Pada tahun 2019 jumlah penduduk sebesar 122.305 jiwa dengan nilai UHI sebesar 3,97 dan luas wilayah sebesar 30% dari total luas wilayah Kecamatan Depok (Irwati et al., 2022). Perkembangan SUHI ini patut diperhatikan bagaimana faktor yang menyertai karena dalam perkembangannya SUHI tidak berdiri sendiri. SUHI memiliki hubungan dengan faktor lain yang saling memengaruhi. Kerapatan vegetasi dan lahan dapat menjadi faktor utama dalam suhu (Shu et al., 2024).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kombinasi algoritma *downscaling* terbaik, menganalisis pola spasial SUHI, dan mengidentifikasi faktor yang memengaruhi penyebarannya di Kapanewon Depok. Tiga kombinasi diuji: (1) metode statistik dengan prediktor NDVI, NDVI², dan NDBI; (2) metode statistik dengan NDVI, NDBI, dan NDWI; serta (3) metode *machine learning random forest* menggunakan band Sentinel-2B dan Landsat 8. Evaluasi akurasi dilakukan menggunakan RMSE dan MAE berdasarkan perbandingan hasil model dengan data lapangan. Kombinasi terbaik digunakan untuk membangun model SUHI dan dianalisis distribusinya menggunakan indeks Moran I.

Metode

Pengumpulan dan Analisis Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksplanatori (Sugiyono, 2017) untuk menjelaskan hubungan antar variabel penginderaan dan fenomena SUHI. Populasi penelitian mencakup semua piksel citra Landsat 8 di Kapanewon Depok (3 kalurahan). Sampel penelitian terdiri dari dua jenis: 36 titik tutupan lahan untuk memodelkan hubungan LST dengan jenis tutupan lahan, dan 108 titik validasi lapangan (*pattern clustered* dengan jarak antar titik ~10 m) untuk memeriksa akurasi model. Proporsi sampel disusun secara proporsional (Tabel 1).

Tabel 1. Proporsi Sampel *landcover*

Tahun	Luas (m ²)	Jumlah Sampel
Lahan Terbangun	25.855.183	26
Lahan Bervegtasi	8.836.222	9
Tubuh Perairan	32.471	1
Total	34.723.876	36

Sumber: Pengolahan data (2024)

Sampel evaluasi adalah sampel yang digunakan untuk cek lapangan guna mengukur tingkat akurasi model *downscaling*. Tingkat akurasi ini berkaitan dengan resolusi spasial *downscaling* sehingga penyusunan sampel untuk tahap evaluasi adalah tiap titik berjarak kurang lebih 10 meter. Untuk mengukur tingkat akurasi model, maka untuk lebih lanjut dari 36 sampel dijabarkan lagi menjadi kelas-kelas sampel. Pengambilan lokasi sampel berupa suhu udara menggunakan teknik *clustered pattern*. disusun titik sampel yang berjarak 10 meter dari titik sebelumnya yang mana setiap klaster terdiri dari 3 titik sehingga terdapat 108 titik yang tersebar. Penentuan lokasi dalam setiap kelas mempertimbangkan pemukiman penduduk serta tutupan awan jika citra yang diperoleh tertutup awan.

Analisis Data untuk Pemodelan Downscaling Citra Suhu Permukaan Lahan

Analisis data untuk pemodelan *downscaling* citra suhu permukaan lahan menggunakan perhitungan indeks vegetasi (NDVI), indeks lahan terbangun (NDBI), indeks perairan (NDWI), dan perhitungan Land Surface Temperature dengan Landsat 8. Dalam perhitungan indeks vegetasi, Susantoro & Wikantika (2015) menjelaskan bahwa informasi indeks vegetasi untuk membedakan vegetasi dan penggunaan lahan lainnya dapat dilakukan dengan formula NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) sebagai berikut :

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

Keterangan :

- NDVI : Indeks Vegetasi
- NIR : Inframerah dekat
- RED : Kanal Merah

NDBI merupakan indeks yang sensitif terhadap lahan terbangun dan menunjukkan kontras yang kuat terhadap kondisi lahan terbangun. Suwarsono & Khomarudin (2014) memberikan penjelasan bahwa model NDBI mampu menunjukkan kondisi lahan terbangun secara cepat dan obyektif dalam pemetaan wilayah terbangun. Perhitungan mengenai NDBI untuk membedakan lahan terbangun ditunjukkan oleh Tabel 2. Perhitungan mengenai NDWI untuk memperjelas kenampakan badan air ditunjukkan oleh Tabel 3.

Tabel 2. Formula NDBI

Formula	Landsat 8 dan Landsat 9	Sentinel-2
$\frac{(SWIR - NIR)}{(SWIR + NIR)}$	$\frac{(B6 - B5)}{(B6 + B5)}$	$\frac{(B11 - B8)}{(B11 + B8)}$

Sumber: Onacillová et al. (2022)

Tabel 3. Formula NDWI

Formula	Landsat 8 dan Landsat 9	Sentinel-2
$\frac{(GREEN - NIR)}{(GREEN + NIR)}$	$\frac{(B3 - B5)}{(B3 + B5)}$	$\frac{(B3 - B8)}{(B3 + B8)}$

Sumber: Onacillová et. al (2022)

Perhitungan suhu permukaan menggunakan metode LST menurut Wiguna (2017) dengan menggunakan data dari Landsat 8 dapat dilakukan melalui tiga tahap, yaitu:

Koreksi Radiometrik Digital number ke spektral radian menggunakan rumus:

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL(12)$$

Keterangan :

- Lλ = Spektral Radian
- ML = Faktor Skala
- Qcal = Digital Number
- AL = Faktor Penambah

Spektral radian ke kelvin menggunakan rumus:

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

Keterangan :

- T = Suhu (Kelvin)
- Lλ = Nilai Radian pada band thermal
- K1 dan K2 = Ketetapan (konstanta)

Kelvin ke Celcius menggunakan rumus:

$$\text{Celcius} = T - 273$$

Pemodelan Downscaling LST dengan Google Earth Engine

Pada proses ini formula-formula pengolahan citra dimasukkan atau di-code-kan sesuai dengan bahasa *javascript*. Poses yang dilakukan adalah model regresi dan *Random Forest* dengan nilai LST sebagai variabel tetap dan NDVI, NDBI, NDWI, kanal biru, hijau, merah, NIR, dan SWIR sebagai variabel bebas. Selanjutnya dari model regresi didapat nilai intercept dan slope yang digunakan pada komponen variabel prekdictor NDVI, NDBI, dan NDWI. Dari regresi NDVI, NDBI, dan NDWI versi landsat dengan LST landsat diperoleh nilai R², koefisien, dan intersep sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 4.

Tabel 4. Nilai hasil regresi

Variabel	R ²	Slope/Koefisien	Intersep
NDVI	0.677	-0.491	
NDBI	0,73	0.591	30.674
NDWI	0,733	-4	

Sumber: Pengolahan Data GEE (2024)

Dilihat dari nilai R² dapat diketahui bahwa dari ketiga variabel memiliki hubungan yang saling memengaruhi dari variabel bebas (NDVI, NDBI, dan NDWI) dan terikat (LST Landsat). Dari nilai koefisien, intersep seperti pada tabel 3, maka dapat substitusi nilai untuk persamaan untuk model prediksi *Downscaling* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{LST} &= a + b\text{NDVI} + c\text{NDBI} + d\text{NDWI} + \Delta T \\ \text{LST} &= 30.674 + (-0.491)\text{NDVI} + (0.591)\text{NDBI} + -(4)\text{NDWI} \end{aligned}$$

Keterangan:

- LST 10m = LST *Downscaling*
- NDVI = NDVI Sentinel-2B
- NDBI = NDBI Sentinel-2B
- NDWI = NDWISentinel-2B

Code:

```
var LST 10m = intercept2.add(slopeNDVI2.multiply(ndvi))
    .add(slopeNDBI2.multiply(ndbi))
    .add(slopeNDWI2.multiply(ndwi));
```

Kemudian dari persamaan model *downscaling* tersebut dilakukan penambahan nilai residual yang diperoleh dari pengurangan LST Landsat dengan LST model *downscaling*. Lalu untuk menelaraskan resolusi spasial ΔT dengan LST 10m, dilakukan *resample* secara *bicubic*.

$$\Delta T = \text{LST Landsat} - \text{LST 10m (resample bicubic)}$$

Code:

`var deltaT = LST_30m.subtract(LST 10m);`

Code *resample*:

`var deltaTResample = deltaT.resample("bicubic").convolve(gaussian);`

Analisis untuk Mencari Model Downscaling Terbaik

Root mean square error (RMSE) digunakan sebagai metrik statistik standar untuk mengukur kinerja model dalam studi penelitian meteorologi, kualitas udara, dan iklim. *Mean absolute error* (MAE) adalah ukuran berguna lainnya yang banyak digunakan dalam evaluasi model (Chai & Draxler, 2014) LST dengan resolusi 10 m atau yang sudah dilakukan proses *downscaling* divalidasikan dengan data pengukuran lapangan yang merupakan data testing. Untuk memperoleh nilai RSME dan MAE maka dilakukan kalkulasi yang secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut (Chai & Draxler, 2014):

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i|$$

$$\text{RMSE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2$$

Analisis untuk Distribusi Spasial LST dan SUHI

Analisis untuk mengetahui distribusi spasial LST dan SUHI mencakup perhitungan nilai ambang SUHI dan analisis pola distribusi LST dan SUHI dengan indeks Moran. Nilai ambang SUHI digunakan sebagai batas suhu yang membedakan daerah non SUHI dan daerah SUHI. Nilai ini dihitung berdasarkan suhu daerah yang dimaksud dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Peta SUHI} = T - (\mu + 0,5 \alpha)$$

Keterangan:

T = LST

μ = Rata-rata LST

α = Nilai standar deviasi LST (Fawzi, 2017).

Indeks Moran adalah ukuran dari autokorelasi spasial secara global. Metode ini dapat digunakan untuk mendeteksi permulaan dari keacakan spasial. Keacakan spasial ini dapat mengindikasikan adanya pola-pola yang mengelompok atau membentuk tren terhadap ruang. (Saputro, et al, 2018). Indeks Moran merupakan teknik dalam analisis spasial untuk menghitung hubungan spasial yang terjadi dalam suatu ruang. Rumus Indeks Moran sebagai berikut :

$$I = \frac{n}{W} \frac{\sum_{i=1}^n z_i^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} z_i z_j}$$

$$W = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} z_{-i}$$

$$z_i = (x_i - \bar{x})$$

$$z_j = (x_j - \bar{x})$$

Keterangan :

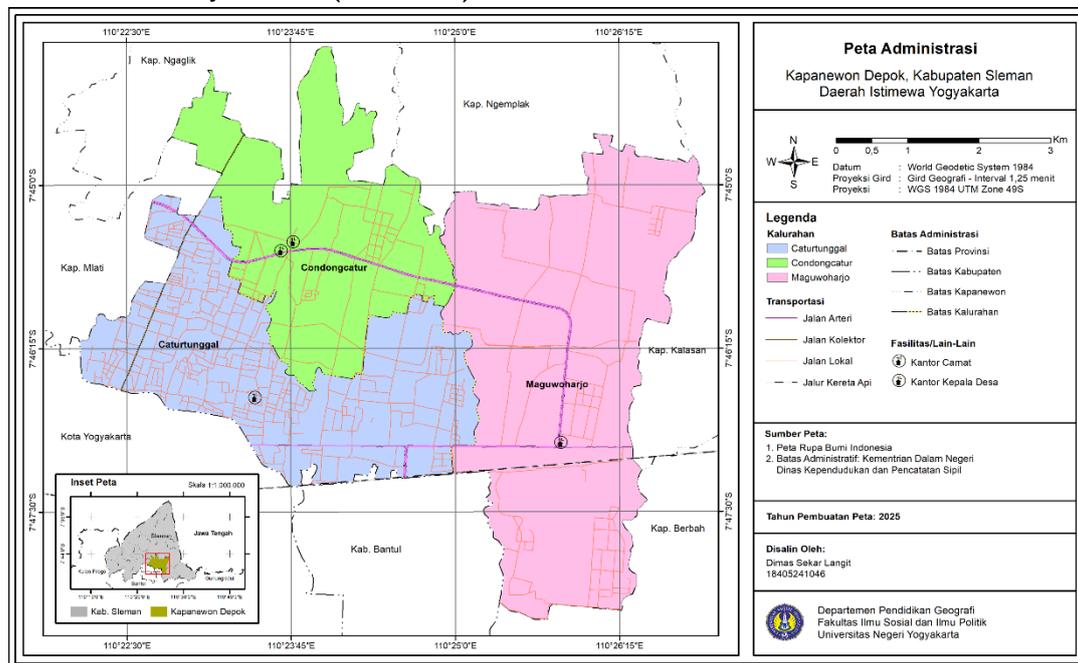
I : Indeks Moran

n : Banyaknya lokasi kejadian

- xi : Banyaknya kejadian tertentu pada wilayah ke i
- xj : Banyaknya kejadian tertentu pada wilayah ke j
- \bar{x} : Rata-rata banyaknya kejadian tertentu
- wij : Elemen matriks pembobotan antara daerah i dan j;
- W : Jumlah dari semua elemen pada matriks pembobotan spasial

Daerah Penelitian

Kapanewon Depok merupakan salah satu dari 17 kapanewon di Kabupaten Sleman. Secara administratif Kapanewon Depok terdiri dari 3 kalurahan, yaitu Kalurahan Maguwoharjo, Kalurahan Condongcatur, dan Kalurahan Caturtunggal. Kalurahan Maguwoharjo memiliki luas 15,01 Km² (42,22%) meruakan kalurahan terluas, kemudian Kalurahan Caturtunggal dengan luas 11,04 Km² (31,05%) dan Kalurahan Condongcatur dengan luas 9,50 Km² (26,72%). Letak Kapanewon Depok secara astronomi berada di 7° 43' 55,2" dan 7° 48' 21,6" Lintang Selatan dan antara 110° 22' 8,4" dan 110° 26' 52,8" Bujur Timur (Gambar 1).



Gambar 1 . Peta Administrasi Kapanewon Depok

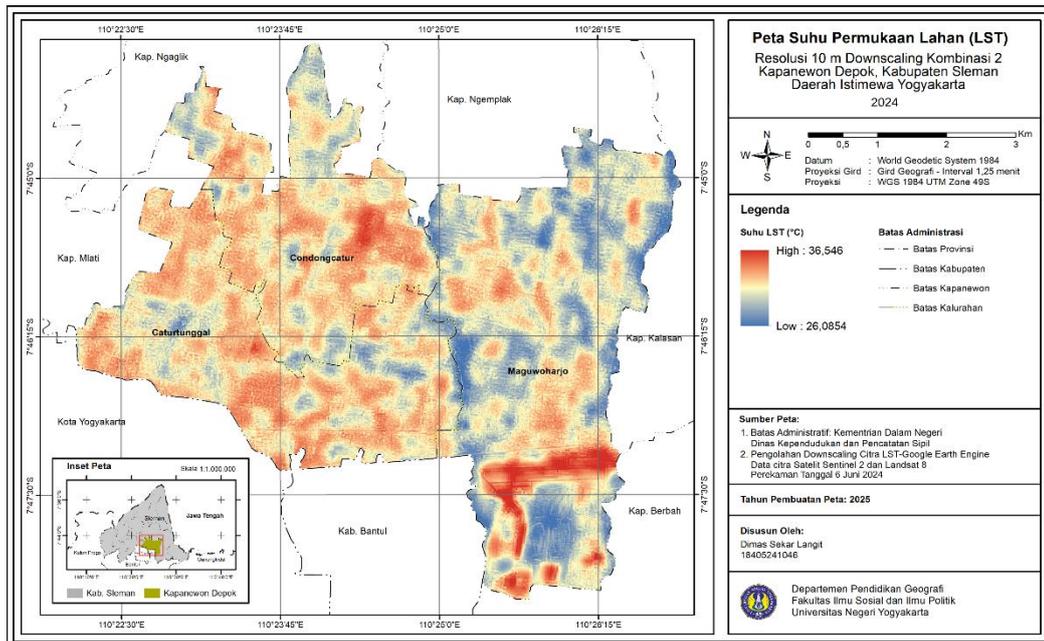
Hasil

Model Downscaling Citra Land Surface Temperature

Dari perhitungan model *downscaling* diperoleh nilai suhu terendah sebesar 26,6°C sementara untuk suhu tertingginya sebesar 35,9°C. Dibandingkan dengan LST asalnya (LST resolusi 30 meter) mengalami perubahan pada suhu tettinginya. Pada LST 30 meter suhu tertingginya diperoleh angka 35,0 °C, terdapat selisih 0,9°C pada kedua suhu LST. Model *downscaling* tersaji dalam peta yang ditunjukkan oleh Gambar 2.

Pada model *downscaling* ini memiliki nilai RMSE dan MAE masing-masing sebesar 4,14 dan 3,89. Nilai ini cukup tinggi terlihat bahwa ada perbedaan nilai antara nilai model dengan nilai di lapangan. Namun jika dibandingkan dengan nilai model yang lebih besar skalanya nilai RMSE lebih rendah. Perbedaan nilai ini dapat dikarenakan oleh banyak faktor, mulai dari waktu pengukuran, perbedaan tanggal pengambilan data di sebagian daerah peneliti maupun dari perbedaan mengenai suhu udara dan suhu tanah. Jika model LST *downscaling* dibandingkan dengan data

LST Landsat (30m) maka diperoleh nilai RMSE sebesar 0,5. Dari nilai ini maka model LST *downscaling* dapat dipakai untuk analisis SUHI karena nilai RMSE cenderung lebih kecil.

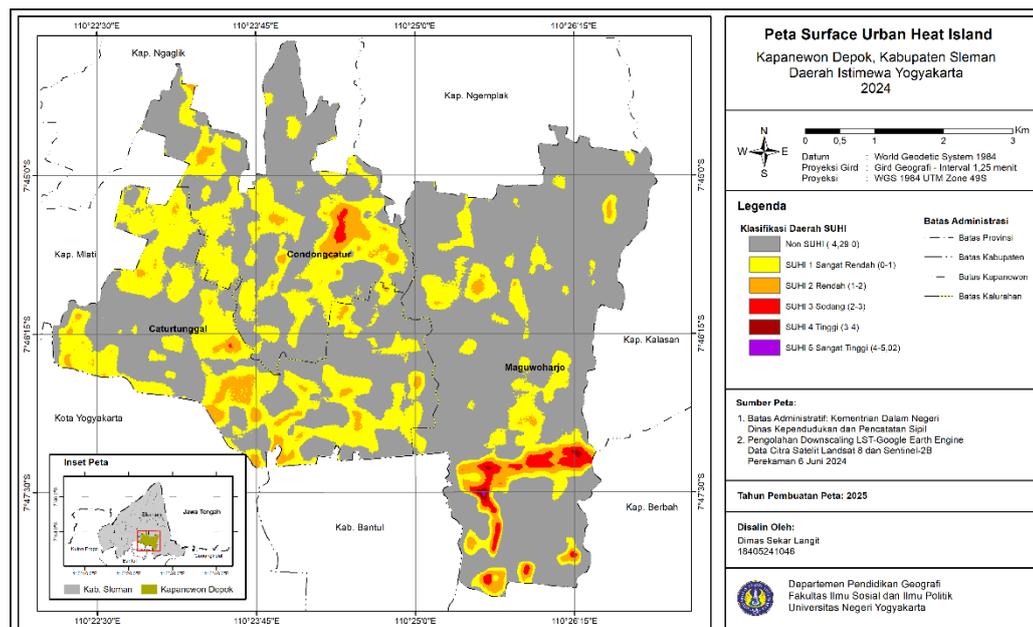


Gambar 2. Peta Suhu Permukaan Lahan (LST) Resolusi 10 m / Model *Downscaling*

Surface Urban Heat Island (SUHI) Kapanewon Depok

Nilai Ambang Batas dan Daerah SUHI

Nilai ambang batas ini bertujuan untuk memisahkan daerah non SUHI dengan daerah SUHI. Mengacu pada model *downscaling*, maka didapat nilai ambang batas daerah SUHI adalah 30,89 °C. Pengurangan Citra LST dengan nilai ambang batas diperoleh data spasial SUHI dan non SUHI. Daerah SUHI bernilai lebih dari nol (0) dan daerah non SUHI bernilai kurang dari nol (0). Daerah SUHI diklasifikasikan menjadi 5 kelas dari sangat rendah sampai sangat tinggi sehingga diperoleh peta SUHI Kapanewon Depok, peta disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta Surface Urban Heat Island Kapanewon Depok, Kabupaten Sleman

Pada Gambar 3 nampak bahwa data spasial menunjukkan ada rentang nilai SUHI antara -4,29 hingga 5,02. Untuk daerah dengan nilai di bawah 0 (nol) maka daerah tersebut bukan daerah SUHI sementara untuk daerah di atas 0 (nol) merupakan daerah yang terdapat fenomena SUHI. Untuk daerah dengan fenomena SUHI dapat diklasifikasikan menjadi 5 kelas berdasarkan nilai SUHI dengan interval 1 (Tabel 5)

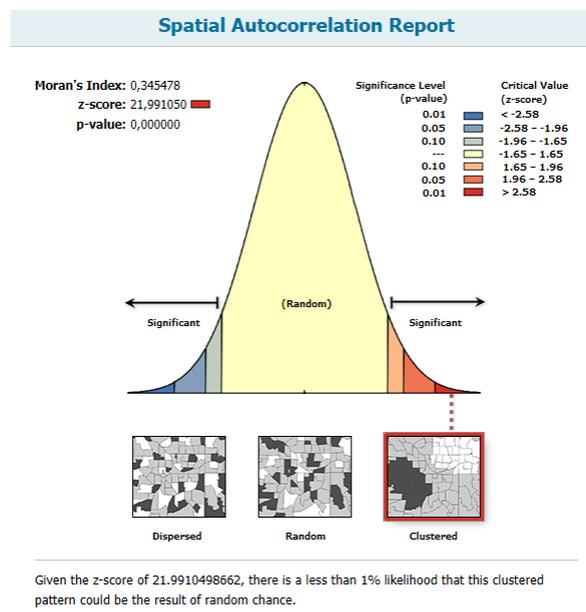
Tabel 5. Klasifikasi SUHI Kapanewon Depok

No	Nilai SUHI	Klasifikasi	Luas (m ²)
1	-4,29 – 0	Non SUHI	22.978,42
2	0-1	SUHI 1 (Sangat Rendah)	9.662,51
3	1-2	SUHI 2 (Rendah)	1.662,67
4	2-3	SUHI 3 (Sedang)	403.447,5
5	3-4	SUHI 4 (Tinggi)	35.565,39
6	4-5,02	SUHI 5 (Sangat Tinggi)	2.823,85

Sumber: Pengolahan Data (2024)

Pola Distribusi Spasial SUHI (Surface Urban Heat Island) Kapanewon Depok

Nilai Indeks Moran's I dengan nilai 0,345478 mendefinisikan SUHI di Kapanewon Depok memiliki autokorelasi spasial positif atau terdistribusi secara *clustered*. Nilai z-score yang lebih besar dari 1,96 (21,991050) mengindikasikan bahwa SUHI terdistribusi secara *clustered* atau berkelompok dengan signifikansi yang kuat. Berdasarkan analisis distribusi spasial dengan indeks Moran's I, memperhatikan z-score dapat disimpulkan bahwa SUHI di Kapanewon Depok merupakan pola *clustered* atau terdistribusi secara berkelompok pada suatu daerah tertentu (Gambar 4).



Gambar 4. Analisis Spasial Indeks Morans

Pembahasan

Penelitian mengenai *downscaling* ini memiliki kesamaan dengan penelitian milik Onacillová, et al (2022) yaitu dengan mengguakan metode statistik regrsi linear dan penelitian Abunnasr dan Mhawej (2022) dengan metode *machine learning random forest*. Perbedaan mengenai penelitian ini dengan penelitian yang disebutkan, terletak pada lokasi penelitian, waktu dan tujuan akhir dari hasil *downscaling*. Penelitian Onacillová dan Abunnasr menggunakan metode statistikal dan

machine learning untuk memperoleh model *downscaling* LST. Metode statistikal membutuhkan koefisien dan konstanta dari hasil korelasi parameter dengan citra LST sementara untuk metode machine learning melakukan training data prediktor dengan data LST asal (LST resolusi 10m). Pada Penelitian ini merekonstruksi dan mengaplikasikan kedua penelitian tersebut serta mengevaluasi model *downscaling* yang dihasilkan. Penelitian ini juga dimaksudkan untuk memperoleh gambaran mengenai *Surface Urban Heat Island* (SUHI), menganalisis pola distribusi spasialnya serta faktor yang memengaruhinya.

Terdapat 2 Kombinasi algoritma yang diterapkan dari penelitian Onacillová, et al (2022), yaitu kombinasi 1 dan kombinasi 2 yang memakai metode statistik. Menurut Onacillová, et al (2022), Kombinasi algoritma yang memiliki nilai RMSE terendah adalah dengan Kombinasi yang memakai prediktor NDVI, NDBI, dan NDWI. Sejalan dengan penelitian ini, Kombinasi dengan prediktor serupa dan algoritma serupa memiliki nilai RMSE dan MAE paling rendah dibanding kombinasi yang lain. Kombinasi ketiga dengan metode *machine learning* dengan memakai gabungan saluran dari Sentinel-2 dikutip dari penelitian Abunnasr dan Mhawej (2022) dengan hasil yang berbeda dari penelitian asalnya. Milik Abunnasr dan Mhawej (2022) dengan kombinasi tersebut memiliki nilai RMSE dan MAE paling rendah, namun pada penelitian ini ditemukan bahwa algoritma kombinasi milik Abunnasr dan Mhawej (2022) masih memiliki nilai RMSE yang tinggi dibanding kombinasi sebelumnya.

Surface Urban Heat Island di Kapanewon Depok memiliki pola distribusi berkelompok. Pola ini diambil dari intensitas SUHI yang terjadi dan memiliki beberapa kelas. Setelah melakukan analisis statistik ditemukan bahwa SUHI memiliki hubungan dengan NDVI, NDBI, dan NDWI yang cukup kuat. Penelitian lain menyebutkan bahwa memang temuan mengenai nilai NDVI dan SUHI saling terkait. Shu, et al (2024) menjelaskan bagaimana hubungan antara NDBI, NDVI, dan NDWI terhadap intensitas SUHI. Menurut Sinha, terdapat kesinambungan antara nilai NDBI dengan SUHI, yaitu semakin tinggi NDBI maka semakin tinggi pula nilai SUHI-nya. Hal tersebut juga ditemukan pada penelitian ini, dimana nilai indeks lahan terbangun yang tinggi berasosiasi juga dengan intensitas SUHI yang tinggi pula. Shu, et al (2024) membandingkan data secara temporal dari tahun 1992 hingga 2021 yang menunjukkan terdapat korelasi SUHI terhadap NDVI, NDBI, dan NDWI secara waktu yang panjang, sementara untuk penelitian ini tidak melibatkan data temporal dalam kurun waktu tertentu, sehingga kedepannya dapat dikembangkan.

Kesimpulan

Model *downscaling* LST dengan regresi linier menggunakan variabel prediktor NDVI, NDBI, dan NDWI menghasilkan akurasi tertinggi (nilai RMSE dan MAE terendah). Dengan model ini, peta SUHI di Kapanewon Depok diklasifikasikan ke dalam lima kelas intensitas, menunjukkan pola sebaran yang klaster. Indeks vegetasi (NDVI) dan indeks air (NDWI) memengaruhi penurunan intensitas SUHI, sedangkan indeks bangunan (NDBI) meningkatkan intensitas SUHI. Faktor permukaan terbangun (NDBI) adalah yang paling dominan memengaruhi SUHI, sehingga perencanaan tata ruang perlu menambah ruang hijau demi kenyamanan termal di perkotaan.

Ucapan Terima Kasih

Artikel ini merupakan pengembangan dari Tugas Akhir Skripsi dari penulis pertama dengan bimbingan dari penulis kedua, ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Dr. Nursida Arif, S.T., M.Sc., dan Dr. Bambang Syaeful Hadi, M.Si., M.Pd. yang telah memberikan bimbingan, masukan, dan saran perbaikan. Penulis mengucapkan terima kasih kepada USGS, ESA, dan Google LLC atas kemudahan akses dan ketersediaan datanya.

Daftar Pustaka

- Abunnasr, Y., & Mhawej, M. (2022). Towards a combined Landsat-8 and Sentinel-2 for 10-m land surface temperature products: The Google Earth Engine monthly Ten-ST-GEE system. *Environmental Modelling & Software*, 155, 105456. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105456>.
- Ainurrohmah, S., & Sudarti, S. (2022). Analisis perubahan iklim dan pemanasan global warming yang terjadi sebagai fase kritis. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Fisika Terapan*, 8(1). <http://dx.doi.org/10.22373/p-jpft.v8i1.13359>.
- Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7(3), 1247–1250. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014>.
- Fawzi, N. I. (2017). Mengukur urban heat island menggunakan penginderaan jauh, kasus di Kota Yogyakarta. *Majalah Ilmiah Globe*, 19(2), 195. <https://doi.org/10.24895/mig.2017.19-2.603>
- Hermawan, E. (2015). Fenomena urban heat island (UHI) pada beberapa kota besar di Indonesia sebagai salah satu dampak perubahan lingkungan global. *Jurnal Citra Widya Edukasi*, 7(1), 33-45
- Ihlen, V., & Zanter, K. (2019). *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook Version 5.0*. USGS EROS.
- Oke, T.R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly journal of the royal meteorological society*, 108(455), 1-24.
- Onáčillová, K., Gallay, M., Paluba, D., Péliová, A., Tokarčík, O., & Laubertová, D. (2022). Combining Landsat 8 and Sentinel-2 data in Google Earth Engine to derive higher resolution land surface temperature maps in urban environment. *Remote Sensing*, 14(16), 4076. <https://doi.org/10.3390/rs14164076>.
- Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., C.E., W., Allen, R. G., Anderson, M. C., Helder, D., Irons, J. R., Johnson, D. M., Kennedy, R., Scambos, T. A., Schaaf, C. B., Schott, J. R., Sheng, Y., Vermote, E. F., Belward, A. S., Bindaschadler, R., Cohen, W. B., Gao, F., & Hipple, J. D. (2014). Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, 145, 154–172. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.001>.
- Shu, B., Chen, Y., Zhang, K., Dehghanifarsani, L., & Amani-Beni, M. (2024). Urban engineering insights: Spatiotemporal analysis of land surface temperature and land use in urban landscape. *Alexandria Engineering Journal*, 92, 273–282. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.02.066>
- Sugiyono. (2017). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. CV. Alfabeta.
- Susantoro, T. M., & Wikantika, K. (2015). Pengolahan Data Landsat 8 Untuk Ekstraksi Objek Di Permukaan Laut. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 21(2), 2015.
- Suwarsono, S., & Khomarudin, R. (2014). Deteksi wilayah permukiman pada bentuklahan vulkanik menggunakan citra landsat-8 oli berdasarkan parameter normalized difference build-up index (ndbi). *Deteksi Parameter Geobiofisik dan Diseminasi Penginderaan Jauh* (hal. 345-356). Jakarta: Seminar Nasional Penginderaan Jauh.
- Wilby, R., & Wigley, T. (1997). Downscaling general circulation model output: a review of methods and limitations. *Progress in Physical Geography Earth and Environment*, 21(4), 530–548. <https://doi.org/10.1177/030913339702100403>.