

DETEKSI URBAN HEAT ISLAND TERHADAP PERKEMBANGAN PERKOTAAN MENGGUNAKAN PENGINDERAAN JAUH DI KOTA BAUBAU

(Urban Heat Island Detection on Urban Development Using Remote Sensing in Baubau City)

Septianto Aldiansyah¹& Risna²

¹Departemen Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

²Departemen Microbiologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor
Jl. Margonda Raya, Pondok Cina, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat 16424
E-mail: septianto.aldiansyah@ui.ac.id

Diterima: 06 Maret 2024; Direvisi: 24 Februari 2024; Disetujui untuk Dipublikasikan: 15 Maret 2024

ABSTRAK

Fenomena *Urban Heat Island* (UHI) sering dikaitkan dengan perkembangan perkotaan yang berawal dari peningkatan suhu permukaan (*Land Surface Temperature*). Deteksi UHI terhadap perkembangan perkotaan dilakukan dari tahun 2018 hingga 2023 yang berfokus di Kota Baubau, Sulawesi Tenggara, Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis fenomena UHI yang terjadi akibat perkembangan perkotaan seperti perubahan penggunaan lahan dan kerapatan bangunan. Selain itu, sebaran dan intensitas UHI juga di analisis dalam lima tahun terakhir. Metode yang digunakan adalah teknik penginderaan jauh temporal dengan memanfaatkan algoritma LST dari citra Landsat 8 OLI/TIRS dan Landsat 9 OLI-2/TIRS-2. Maximum Likelihood juga digunakan untuk mengklasifikasi penggunaan lahan. Perubahan tutupan lahan area terbangun dan kerapatan bangunan berdampak terhadap fenomena UHI. Tutupan lahan terbangun meningkat hingga 0,53 km² dengan suhu rata-rata UHI mencapai 2,6°C ditahun 2023, sedangkan setiap peningkatan kepadatan bangunan 1% akan meningkatkan suhu udara rata-rata hingga 0,0847°C. Fenomena distribusi dan intensitas UHI terjadi di daerah pusat perkotaan, dan kenaikan intensitas UHI mencapai 2°C.

Kata kunci: Distribusi UHI, intensitas UHI, kerapatan bangunan, suhu permukaan, *urban heat island*

ABSTRACT

The *Urban Heat Island* (UHI) phenomenon is often associated with urban development that originates from an increase in surface temperature (*Land Surface Temperature*). UHI detection of urban development was carried out from 2018 to 2023 focusing on Baubau City. This study aims to analyze the UHI phenomenon that occurs as a result of urban developments such as changes in land use and building density. In addition, the distribution and intensity of UHI were also analyzed in the last 5 years. The method used is a temporal remote sensing technique by utilizing the LST algorithm from Landsat 8 OLI/TIRS and Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 imagery. Maximum Likelihood is also used to classify land use. Changes in built-up area land cover and building density have an impact on the UHI phenomenon. Built-up land cover increased by up to 0.53 km² with an average UHI temperature of 2.6°C in 2023, while every 1% increase in building density will increase the average air temperature up to 0.0847°C. The phenomenon of UHI distribution and intensity occurs in urban center areas and the increase in UHI intensity reaches 2°C.

Keywords: UHI Distribution, UHI intensity, building density, land surface temperature, *urban heat island*

PENDAHULUAN

Sejak periode praindustri, suhu rata-rata global telah meningkat hingga 0,87°C (Mbow et al., 2017), dan diperkirakan akan terus meningkat hingga 2,0-4,9 °C di tahun 2.100 (Raftery et al., 2017). Peningkatan suhu ini menimbulkan peristiwa panas ekstrim yang lebih sering dan intens, sehingga dapat menyebabkan kematian manusia dan kerusakan ekonomi. Salah satu dampak langsung dan negatif dari perubahan iklim adalah peningkatan stres panas yang akan menyebabkan peningkatan morbiditas, mortalitas,

dan penurunan produktivitas kerja di seluruh dunia (Kjellstrom et al., 2009; García-Herrera et al., 2010; Singh et al., 2015). Dalam studi Sun et al., (2019), peningkatan suhu rata-rata global sebesar 0,5°C akan meningkatkan tingkat keterpaparan suhu panas hingga 38%. Kjllstrom et al., (2019) juga melaporkan bahwa peningkatan suhu di bawah 1,5°C dan ditambah adanya tekanan panas tambahan akan menyebabkan kerugian hingga US\$ 2.400 miliar, dan penurunan total jam kerja ditahun 2030 diseluruh dunia, dengan sektor pertanian dan

konstruksi sebagai sektor yang paling terpengaruh.

Dalam perspektif kesehatan manusia, wilayah perkotaan lebih beresiko tinggi terpapar suhu panas karena adanya efek *Urban Heat Island* (UHI). Fenomena UHI mengacu pada daerah perkotaan yang cenderung memiliki suhu yang lebih tinggi daripada lingkungan pedesaannya (Loughnan et al., 2012). Beberapa studi memperkirakan bahwa urbanisasi dan peningkatan kepadatan kelompok populasi (lansia, orang miskin, dan pekerja luar ruangan) menderita sengatan panas, sehingga memungkinkan daerah perkotaan lebih rentan terhadap gelombang panas (Lou & Lau, 2018; Wang et al., 2019). UHI juga memiliki efek terhadap perilaku dan pola hidup manusia (Zheng et al., 2019) yang akan berdampak terhadap timbulnya penyakit serius seperti depresi, penyakit jantung, dan demensia (Rifkin et al., 2018).

Indonesia adalah salah satu contoh negara berkembang yang mengalami efek sengatan panas yang disebabkan oleh fenomena UHI. Diproyeksikan bahwa 67% penduduknya diperkirakan akan tinggal di kota pada tahun 2035 (Jones, 2010). Pengamatan yang dilakukan Alexander et al., (2006) menunjukkan bahwa adanya peningkatan jumlah siang yang panas dan malam yang hangat antara tahun 1960 dan 2003. Survei yang dilaporkan oleh Arifwidodo et al., (2019) menemukan bahwa 50% responden Kota Bandung mengalami kesulitan selama perjalanan menuju lokasi tempat kerja karena cuaca panas. Russo et al., (2014) memproyeksikan kenaikan suhu rata-rata global terbesar terjadi di akhir abad ke-21 akibat peningkatan tiga gelombang panas dari tahun 2020-2052 dengan pengulangan dua tahun sekali selama periode 2.068-2.100. Hal ini berakibat pada peningkatan jumlah kematian pada lansia di wilayah metropolitan Jakarta hingga 12-15 kali lipat pada tahun 2050 (Varquez et al., 2020). Perubahan iklim ini kemungkinan besar akan memaksa penduduk perkotaan untuk bermukim kembali di pedesaan (Zander et al., 2019).

Saat ini lahan untuk kawasan bervegetasi semakin terbatas dan akan mempengaruhi pola ruang kawasan perkotaan, dan meningkatkan suhu permukaan. Fahmi et al., (2016) telah menunjukkan bahwa adanya konsentrasi peningkatan kawasan terbangun di Kota Baubau, Sulawesi Tenggara, Indonesia. Sementara itu, lahan yang ditumbuhi vegetasi, dominan di luar wilayah perkotaan. Kondisi ini menyebabkan perbedaan tingkat pertumbuhan perkotaan dan pedesaan. Pertumbuhan ini menyebabkan urban *sprawl*, intensitas pembangunan, dan de-vegetasi yang terkait pertumbuhan populasi dan dapat menghasilkan lebih banyak UHI (Lemonsu et al.,

2015). Semakin berkembang Kota Baubau, bangunan dan penduduk juga semakin bertambah. Hal ini berakibat pada penurunan ketersediaan ruang terbuka yang seharusnya dapat diubah menjadi kawasan hijau. Marwasta (2016) menyatakan bahwa semakin intensif pembangunan fisik, khususnya yang terjadi di pinggiran kota, semakin menurun tingkat kenyamanan hunian (suhu dan kelembaban harian).

Pendekatan dalam identifikasi fenomena UHI di Kota Baubau melalui citra Landsat pada tahun 2018 dan 2022 untuk menganalisis peningkatan kenaikan suhu permukaan dan hubungannya pada perkembangan perkotaan dalam kurun waktu tersebut. Penginderaan jauh memungkinkan untuk mengidentifikasi suatu wilayah tanpa perlu melakukan kontak langsung dengan suatu wilayah (Islam et al., 2020). Ekstraksi informasi suhu permukaan menggunakan metode Land Surface Temperature (LST) untuk berbagai jenis citra penginderaan jauh dan masih belum terlalu banyak melihat kondisi secara temporal terhadap fenomena UHI dan kaitannya terhadap perkembangan perkotaan (Rozenstein et al., 2014; Aldiansyah & Wardani, 2023). Pendekatan ini dapat menjadi media dalam mengidentifikasi UHI dan sebagai dasar perencanaan wilayah ataupun peningkatan Ruang Terbuka Hijau (RTH).

Perkembangan Kota Baubau, khususnya daerah yang sedang berkembang, seperti daerah Batupaoro, Betoambari, Kokalukuna, Murhum, dan Wolio karena faktor pendidikan, pemerintahan, dan perekonomian sebagai daya tarik masyarakat untuk datang dan menetap sementara, dan juga sebagai pekerja maupun berdagang. Kondisi yang terus meningkat tersebut membuat Kota Baubau memiliki perkembangan yang lebih pesat dibandingkan wilayah lain di Pulau Buton. Struktur topografi yang kompleks dimana jarak antara pantai dan pegunungan sangat dekat, membuat Kota Baubau menjadi pemicu awal terjadinya fenomena UHI sebelum menyebar ke wilayah sekitarnya yang diikuti banyaknya perubahan penggunaan lahan.

Berdasarkan uraian di atas maka tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis fenomena UHI yang terjadi akibat perkembangan perkotaan seperti perubahan penggunaan lahan dan kerapatan bangunan pada tahun 2018 dan 2023 menggunakan teknik penginderaan jauh di Kota Baubau.

METODE

Wilayah Studi

Penelitian ini dilakukan di Kota Baubau yang terdiri dari Kecamatan Batupaoro, Betoambari,

Kokalukuna, Murhum, dan Wolio. Wilayah ini dipilih karena memiliki tingkat perubahan penggunaan lahan yang signifikan dibanding wilayah lain di Kota Baubau. Pada penelitian ini, Kota Baubau memiliki luas wilayah 28,32 km² yang diproyeksikan dengan UTM Zone 50S. Wilayah ini berada di dekat pesisir. Terdapat dua musim di wilayah ini yaitu musim hujan dan musim kemarau, dengan suhu udara berkisar 21°C–33°C. Musim barat hujan berlangsung pada bulan November hingga Mei dan musim kemarau berlangsung dari bulan Juni hingga Oktober. Suhu udara di Kota Baubau cukup panas khususnya di siang hari pada musim kemarau, sehingga identifikasi fenomena UHI dilakukan pada bulan-bulan tersebut. Gambaran wilayah studi dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Data

Penelitian ini menggunakan data citra Landsat 8 OLI/TIRS dan Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 dengan path/row 112/64. Kriteria akuisisi citra *area of interest* (AOI) adalah tutupan awan <5%. Landsat 8 OLI digunakan untuk identifikasi fenomena UHI tahun 2018, sedangkan Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 digunakan untuk identifikasi fenomena UHI tahun 2023. Kedua jenis citra memanfaatkan jenis Band yang sama untuk mengidentifikasi fenomena UHI yaitu Band 5 Near-Infrared, Band 4 Red, dan Band 10 TIRS-1.

Ekstraksi Land Surface Temperature

Terdapat beberapa tahap dalam mengekstraksi nilai LST pada data Landsat seperti menentukan nilai pancaran *Top of Atmosphere* (TOA), *Radiance*, *Normalized Difference Vegetation*

Index (NDVI), Proporsi Vegetasi (Pv), dan Emisivitas permukaan tanah (*e*). Ekstraksi nilai LST pada Landsat 8 OLI/TIRS dan Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 menggunakan Band 10 TIRS-1. Konstanta Kalibrasi radian spektral 1 dan 2 untuk Landsat 8 OLI/TIRS adalah $K1= 774,8853$ dan $K2=1321,0789$, sedangkan Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 adalah $K1= 799,0284$ dan $K2= 1329,2405$. Nilai TOA ditentukan menggunakan **Persamaan 1**, sedangkan nilai *Radiance* ditentukan menggunakan **Persamaan 2** (Sultana & Satyanarayana, 2018).

$$L_{\lambda} = 0,0003342 \times Q_{cal} + 0.1 \dots \dots \dots (1)$$

di mana:

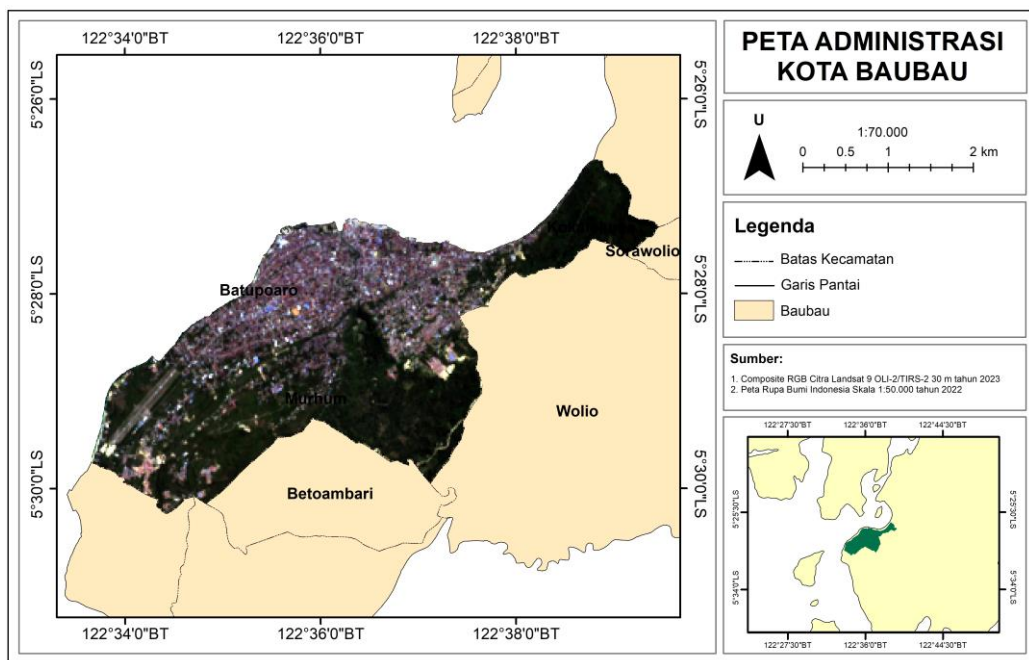
- L_{λ} = Radian spektral dari sensor (Watts/(m².sr.μm))
- Q_{cal} = Nilai piksel yang terkalibrasi kuantitasi dalam DN_s.

$$BT = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_{\lambda}} + 1\right)} - 273,15 \dots \dots \dots (2)$$

di mana:

- BT = Kecerahan Suhu
- L_{λ} = Nilai Radiance (Watts/(m².sr.μm))
- K1 = Konstanta Kalibrasi radian spektral 1.
- K2 = Konstanta Kalibrasi radian spektral 2.

Sebelum mengubah BT menjadi LST, penting untuk menghitung nilai emisivitas permukaan tanah (*e*). Sabrina & Raissouni, (2000) mengusulkan metodologi dengan menggunakan algoritma estimasi NDVI (Estoque et al., 2017). Setelah nilai NDVI didapatkan, selanjutnya menghitung nilai Proporsi Vegetasi (Pv) menggunakan **Persamaan 3** dan nilai emisivitas permukaan tanah (*e*) menggunakan **Persamaan 4** berikut.



Gambar 1. Lokasi penelitian.

$$Pv = \frac{(NDVI - NDVI_{Min})}{(NDVI_{Max} - NDVI_{Min})} \dots\dots\dots(3)$$

di mana:

- Pv = Proporsi Vegetasi
- $NDVI$ = Nilai indeks kerapatan vegetasi
- $NDVI_{Min}$ = Nilai minimum NDVI
- $NDVI_{Max}$ = Nilai maksimum NDVI
- $e = m Pv + n \dots\dots\dots(4)$

di mana:

- e = Emisivitas permukaan tanah
- m = 0.004
- Pv = Proporsi vegetasi
- n = 0,986

Estimasi LST dihitung menggunakan **Persamaan 5** dan suhu yang diperoleh dalam satuan Kelvin, diubah menjadi skala satuan Celcius menggunakan **Persamaan 5** (Artis & Carnahan, 1982).

$$LST = \frac{BT}{\left[1 + \left(\frac{\lambda \times BT}{\alpha}\right) \ln(e)\right]} \dots\dots\dots(5)$$

- LST = Suhu permukaan tanah
- BT = Kecerahan suhu TOA (°K)
- λ = Panjang gelombang pancaran *radiance* (0.00115)
- α = Konstanta yang diperoleh dari $h \cdot c / \sigma$ (1,4388 μmK)
- e = Emisivitas permukaan tanah

Nilai α diperoleh dari kombinasi dari h , c , dan σ . h adalah konstanta Planck's = $6.626 \cdot 10^{-34}$ Js; c adalah kecepatan cahaya = $2.998 \cdot 10^8$ ms⁻¹; dan σ adalah konstanta Boltzmann = $1,38 \cdot 10^{-23}$ J K⁻¹.

Identifikasi Urban Heat Island

Fenomena UHI yang dikaji pada penelitian ini berfokus pada fenomena UHI yang ada di perkotaan dengan mengacu pada hasil LST. Fenomena UHI dihitung menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh Rajasekar & Weng (2009) dengan mengadopsi metode yang diterapkan oleh Ma et al. (2010). Selain mengidentifikasi sebaran UHI, intensitas UHI juga dieksplorasi pada penelitian ini. Intensitas UHI dianalisis menggunakan metode yang dikembangkan oleh Xu et al. (2013). Intensitas UHI digunakan untuk mengetahui akibat yang dihasilkan oleh fenomena UHI melalui perbedaan suhu relatif. Nilai LST <0 diidentifikasi wilayah yang tidak terdampak UHI, sedangkan nilai LST ≥ 0 diidentifikasi wilayah yang terdampak UHI (Tsou et al., 2017). Sebaran UHI dihitung menggunakan **Persamaan 6**, sedangkan intensitas UHI dihitung menggunakan **Persamaan 7** berikut.

$$UHI = T_{mean} - (\mu + 0.5\alpha) \dots\dots\dots(6)$$

di mana:

- UHI = Urban Heat Island
- T_{mean} = Suhu permukaan (K)
- μ = Nilai rata-rata suhu permukaan (K)
- α = Standar deviasi suhu permukaan (K)

$$T_r = \frac{T_s - \bar{T}_s}{\bar{T}_s}$$

$$T_s = \frac{T_s - \bar{T}_s}{\bar{T}_s} \dots\dots\dots(7)$$

di mana:

- T_r = Suhu permukaan relatif (C)
- T_s = Suhu permukaan (C)
- \bar{T}_s = Nilai rata-rata suhu permukaan (C)

Perubahan Penggunaan Lahan

Ekstraksi informasi perubahan penggunaan lahan pada Landsat 8 OLI/TIRS dan Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 mengadopsi metode Klasifikasi Multispektral terbimbing yaitu Maximum Likelihood yang kelas penggunaan lahannya ditentukan oleh peneliti. Pada penelitian ini, penggunaan lahan yang digunakan adalah lahan terbangun (permukiman, area industri, dan perkantoran) dan non-terbangun (lahan yang tidak memiliki bangunan).

Pengujian kelas penggunaan lahan dilakukan dengan tabel *confusion matrix* yang dikembangkan oleh Congalton (1991). Jumlah sampel ditentukan menggunakan pertimbangan tingkat akurasi dengan formula yang dikembangkan oleh Jensen JR (2005) sehingga jumlah sampel yang digunakan sebanyak 50 sampel. Selain itu, Maximum Likelihood memiliki presentasi hasil yang lebih tinggi >80% dibandingkan metode klasifikasi multispektral yang lain, khususnya pada daerah heterogen (Ahmad & Quegan, 2013). Perubahan penggunaan lahan berfokus pada lahan permukiman sebagai identifikasi untuk kenampakan UHI di wilayah Kota Baubau.

Transformasi Spektral Citra Satelit

Ekstraksi Built-up Area dilakukan dengan mengkombinasikan *Normalized Difference Built-Up Index* (NDBI), NDVI, dan *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI). Persamaan yang digunakan untuk menilai *Built-up Area* (BUA) disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Transformasi algoritma NDBI, NDVI, MNDWI, dan BUA.

Deskripsi	Persamaan	Sumber
Deteksi area terbangun	$NDBI = \frac{(SWIR1 - NIR)}{(SWIR1 + NIR)}$	Xu, 2005
Mengukur indeks tingkat kehijauan tumbuhan (vegetasi)	$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$	Estoque et al., 2017
Pengurangan lensa tanah	$MNDWI = \frac{(Green - SWIR2)}{(Green + SWIR2)}$	Zha et al., 2003
Kerapatan Bangunan	$BUA = NDBI - NDVI - MNDWI$	Bhatti & Tripathi, 2014

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Land Surface Temperature

Suhu permukaan yang dihasilkan dari Landsat 8 OLI/TIRS dan Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 memanfaatkan dua *band* Thermal Infrared yang sama. Selama 5 tahun terakhir, suhu permukaan di Kota Baubau berada pada interval 18,75°C – 21,87°C (**Tabel 2**). Peningkatan suhu rata-rata mencapai 3,12°C, temuan ini lebih tinggi dari yang ditemukan oleh Maishella et al., (2020) yang mengukur peningkatan suhu sebesar 2,73°C dalam waktu lima tahun. Perbedaan ini dapat dipengaruhi oleh faktor lain, seperti: perubahan tutupan lahan dan kerapatan bangunan.

Tabel 2. Nilai Suhu Permukaan Citra Satelit Landsat 8 OLI/TIRS dan Landsat 9 OLI-2/TIRS-2

Tahun	Suhu (°C)			Std Dev.
	Min	Max	Mean	
29-05-2018	14,58	22,90	18,75	1,76
20-06-2023	17,65	27,80	21,87	2,29

Secara keseluruhan, seluruh kelurahan mengalami tren meningkat dari tahun 2018-2023. Peningkatan LST paling signifikan terjadi pada Kelurahan Bonebone, Tarafu, Wameo, Kaobula, Lanto, dan Nganganamala. Wilayah lain seperti Kelurahan Baadia, Bukit Wolio Indah, dan Kodolomoko juga mengalami perubahan dengan LST > 22°C, dimana wilayah tersebut merupakan kawasan padat bangunan yang masih dalam proses pembangunan. Sesuai dengan pernyataan Fawzi (2017), serta Aldiansyah & Wardani (2023), bahwa kawasan terbangun memiliki emisivitas yang lebih tinggi yang berpotensi meningkatkan temperatur permukaan, semakin luas dan padat

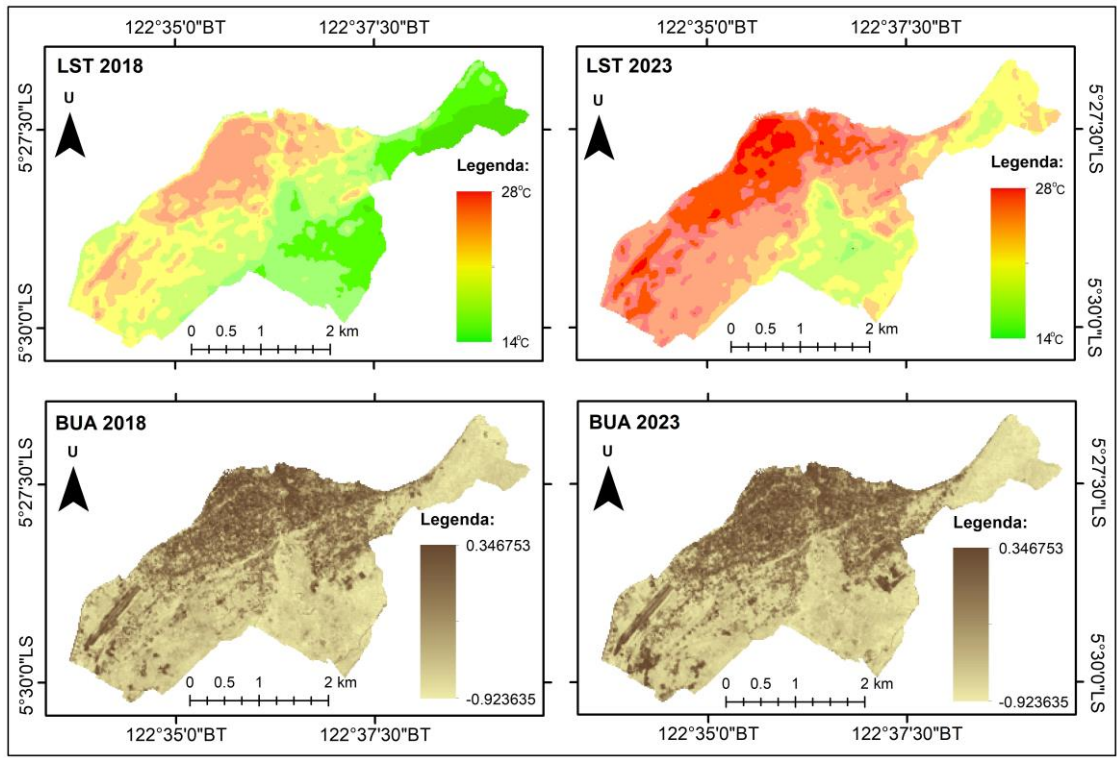
kawasan terbangun, maka temperatur permukaan juga akan semakin meningkat.

Distribusi spasial LST dan Kawasan Terbangun menunjukkan bahwa kawasan terbangun yang diindikasikan sebagai perkembangan kawasan perkotaan di Kota Baubau berpusat di utara dan mengarah ke arah selatan. Areal terbangun terdeteksi berwarna coklat tua dengan sebaran mengelompok di bagian utara Kota Baubau (**Gambar 2**). Deteksi kawasan terbangun didasarkan pada Bhatti & Tripathi (2014) yang menyatakan bahwa kawasan terbangun terdeteksi pada nilai DN > -0,2, sedangkan sisanya merupakan tutupan lahan lain.

Pemanfaatan indeks NDVI, MNDWI, dan NDBI berdasarkan kepekaan masing-masing indeks terhadap objek di permukaan bumi. Deteksi kawasan terbangun telah menggunakan indeks MNDWI untuk mengurangi pengaruh kelembaban permukaan, sehingga kawasan terbangun yang terdeteksi lebih jelas. Tidak terdapat nilai korelasi negatif (minus), sehingga kontras area terbangun dibandingkan objek lain cukup baik dan jelas (**Tabel 3**). Indeks NDVI digunakan untuk memberikan kontras yang lebih pada kelas tutupan vegetasi dan tutupan lahan terbuka, sehingga diharapkan kombinasi NDVI dan NDBI dapat memberikan hasil deteksi area terbangun yang lebih baik.

Tabel 3. Korelasi antara LST, NDVI, MNDWI, dan NDBI

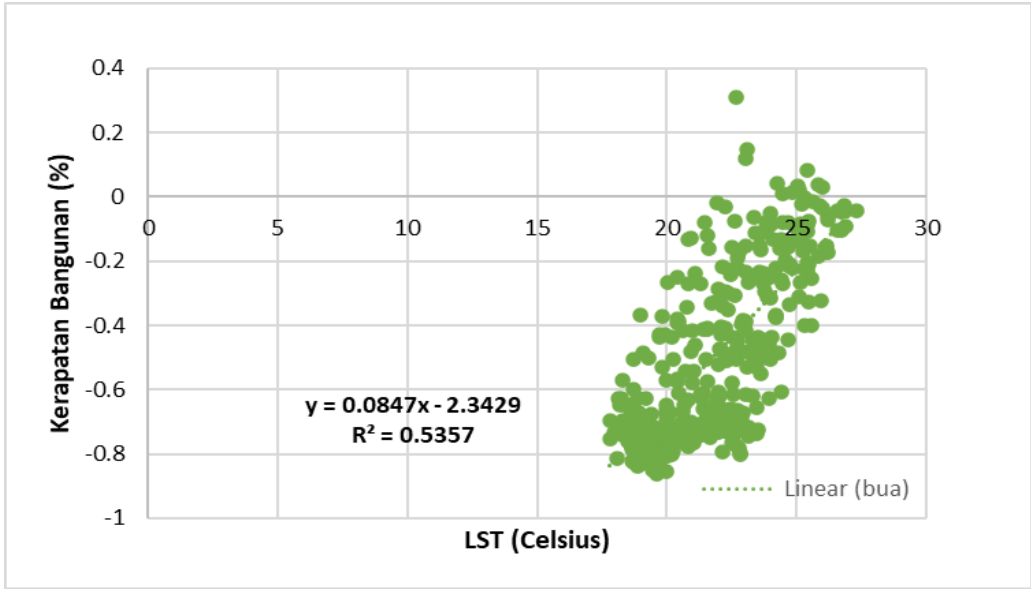
	LST	NDVI	MNDWI	NDBI
LST	1			
NDVI	0.5191	1		
MNDWI	0.3434	0.4727	1	
NDBI	0.5339	0.899	0.7262	1



Gambar 2. Sebaran LST dan BUA di Kota Baubau.

Hasil statistik menunjukkan adanya korelasi yang kuat antara kepadatan bangunan dan LST dengan koefisien determinasi 0,5357. Hal ini menunjukkan ada hubungan yang kuat antara peningkatan kepadatan bangunan dengan peningkatan LST di Kota Baubau. Nilai koefisien determinasi juga dapat digunakan untuk menghitung kontribusi kepadatan bangunan terhadap LST. LST dipengaruhi oleh kepadatan bangunan dengan perkiraan sebesar 53,57%, sedangkan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain.

Hasil regresi linear kedua parameter ditunjukkan pada **Gambar 3**. Persamaan regresi antara kepadatan bangunan dengan LST diperoleh $y=0.0847x - 2.3429$ dengan LST dalam derajat Celsius sebagai variabel y dan kepadatan bangunan dalam persen sebagai variabel x . Berdasarkan persamaan regresi, peningkatan kepadatan bangunan sebesar 1% di wilayah studi, dapat meningkatkan LST sebesar 0,0847°C, namun di daerah lain pengaruhnya dapat berbeda-beda.



Gambar 3. Regresi linear.

Analisis Urban Heat Island

Klasifikasi distribusi UHI bertujuan agar fenomena UHI yang diperoleh dapat diidentifikasi dan dikelompokkan berdasarkan tinggi rendahnya nilai LST yang dihasilkan (Fawzi, 2017). Distribusi UHI dikelompokkan menjadi tiga kelas yaitu Non-UHI, UHI 1, dan UHI 2. Non-UHI merepresentasikan wilayah yang tidak terdampak fenomena UHI, UHI 1 dikategorikan sebagai wilayah yang memiliki potensi peningkatan fenomena UHI, sedangkan UHI 2 adalah wilayah yang paling signifikan mengalami UHI. Analisis fenomena UHI bertujuan untuk mengetahui nilai ambang batas suhu untuk wilayah Kota Baubau. Berdasarkan nilai ambang batas UHI bahwa pada tahun 2018, fenomena UHI terjadi jika suhu permukaan tanahnya melebihi 20,33°C, sedangkan jika suhu permukaan tanah dibawah 20,33°C menandakan wilayah tersebut tidak mengalami fenomena UHI (**Tabel 4**).

Tabel 4. Luasan Distribusi (Km²) dan Ambang Batas UHI (°C)

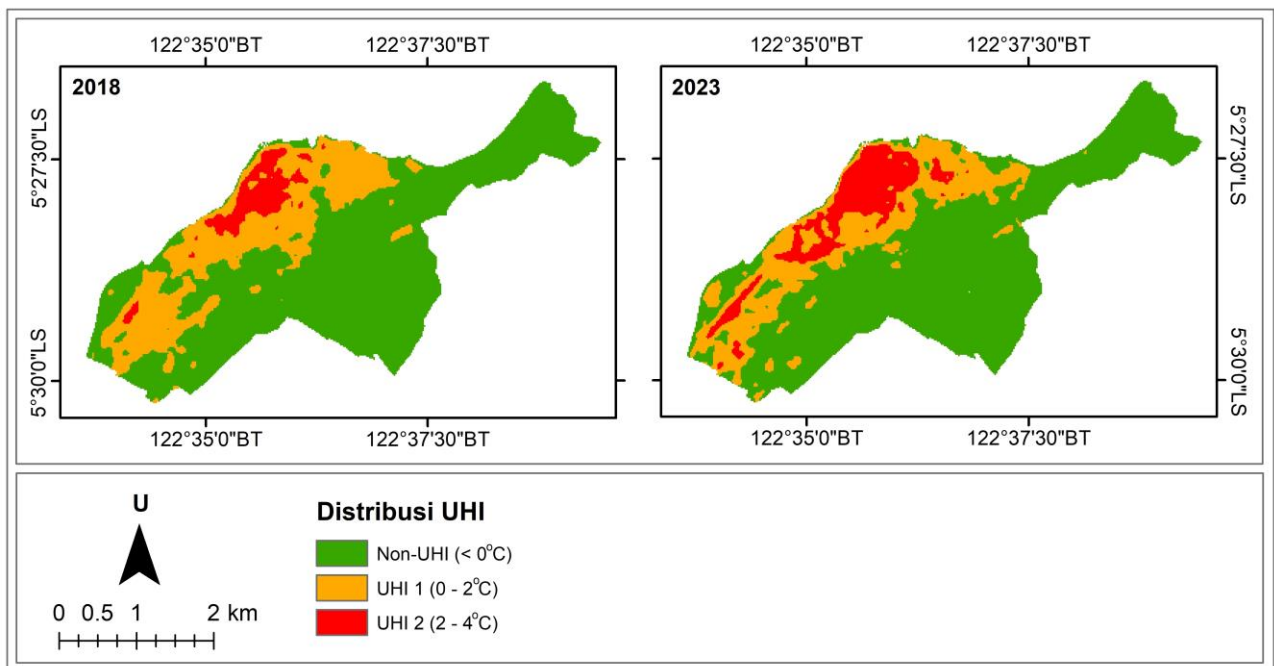
Tahun	Kelas (Km ²)			Nilai Ambang Batas (°C)
	Non-UHI	UHI 1	UHI 2	
29-05-2018	19,12	7,73	1,47	20,33
20-06-2023	18,95	6,34	3,02	23,9

Berbeda dengan tahun 2023 yang nilai ambang batasnya lebih tinggi, yaitu 23,9°C. Ambang batas ini bersifat relatif, karena akan berbeda pada wilayah lain. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa ambang batas UHI lebih rendah untuk wilayah perkotaan yang berada di daerah pesisir. Wilayah pesisir umumnya lebih

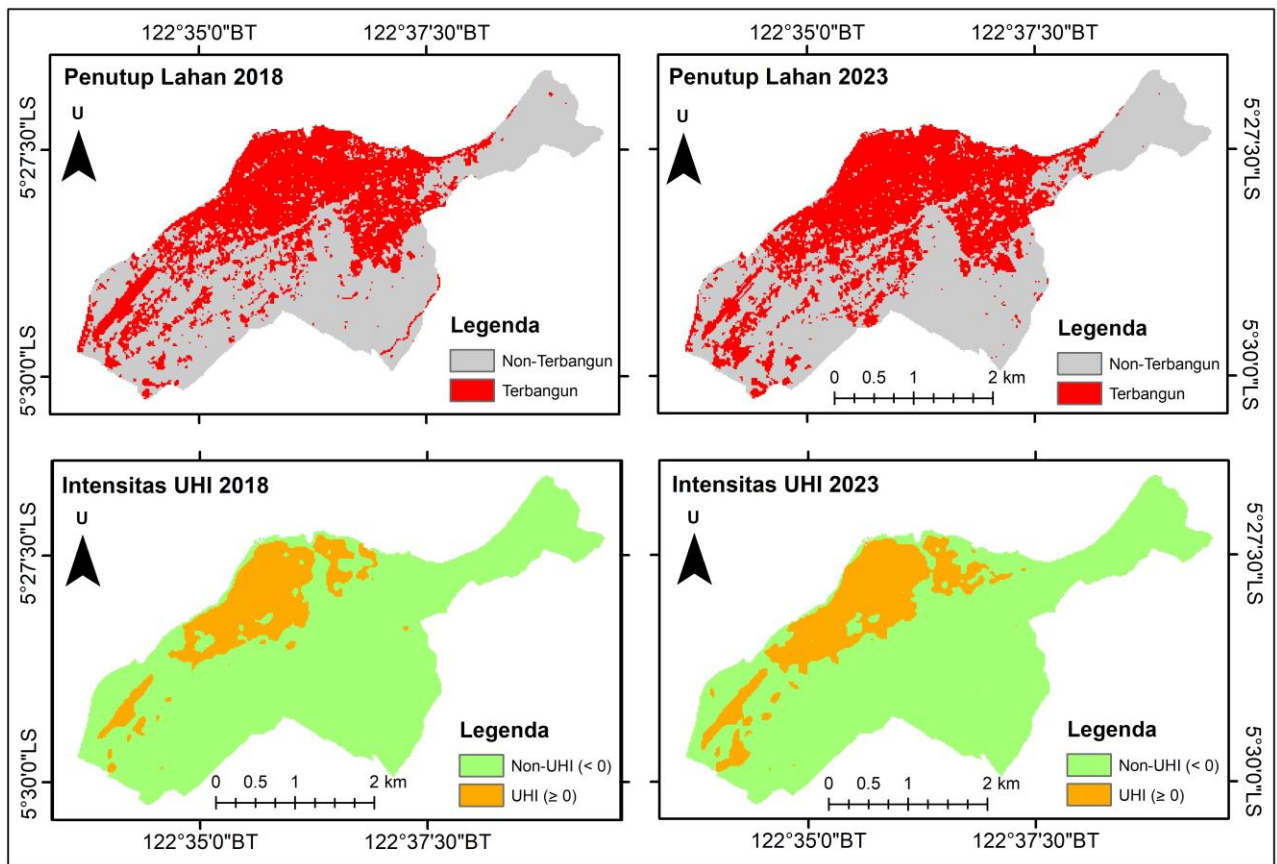
panas karena adanya pengaruh topografi. Semakin rendah suatu topografi, maka semakin panas wilayah tersebut.

Distribusi UHI 1 menunjukkan tren penurunan hingga 1,39 km². Pada UHI 2 menunjukkan tren yang meningkat sebesar 1,55 km². Wilayah yang tidak mengalami UHI masih memiliki cakupan yang cukup luas, meskipun menurun sebesar 0,17 km² (**Gambar 4**). Hal ini dipengaruhi oleh penggunaan indeks vegetasi dalam mengekstraksi suhu permukaan dan kurang mampu dalam menilai suhu permukaan terhadap kondisi *existing* (Tsou et al., 2017).

Pola yang dihasilkan oleh Distribusi UHI cenderung berbeda dari Intensitas UHI. Distribusi UHI fokus pada fenomena UHI yang terjadi, sedangkan intensitas UHI lebih menunjukkan kondisi fenomena UHI akibat perubahan penggunaan lahan, terutama wilayah terbangun dan lahan terbuka. Nilai kappa yang dihasilkan dari penggunaan lahan tahun 2018 dan 2023 masing-masing sebesar 79,31% dan 83,49%. Akurasi tersebut dinilai cukup baik untuk mengidentifikasi perubahan penggunaan lahan. Intensitas UHI ≥0 menunjukkan potensi kemungkinan terjadinya UHI, sedangkan nilai <0 tidak memiliki potensi untuk terjadinya fenomena UHI. Pola intensitas UHI akibat perubahan tutupan lahan meningkat sebesar 1,03 km² yang sejalan dengan penurunan luasan wilayah Non-UHI (**Gambar 5**). Namun, proporsi perbandingan wilayah berpotensi mengalami UHI masih lebih rendah, daripada wilayah yang tidak berpotensi mengalami UHI. Intensitas UHI pada tahun 2018 sebesar 1°C, namun pada tahun 2023 meningkat hingga 2°C.



Gambar 4. Distribusi UHI Kota Baubau



Gambar 5. Sebaran Penggunaan Lahan Terbangun dan Intensitas UHI Kota Baubau

Peningkatan tersebut seiring dengan peningkatan area terbangun hingga 0,53 km². Temuan ini juga dilaporkan oleh Bonafoni et al., (2017) bahwa peningkatan intensitas UHI sebesar 2°C pada wilayah perkotaan. Suhu daerah terbangun juga dianalisis pada penelitian ini. Suhu daerah terbangun pada tahun 2018 dan 2023 masing-masing berada pada 20,61°C – 22,90°C dan 25,39°C – 27,80°C. Kota Baubau pernah tercatat cukup panas meskipun belum masuk dalam kategori ekstrem (Arianto, 2019). Namun fenomena peningkatan suhu udara dapat mempengaruhi flora perkotaan, iklim, konsentrasi polutan, kualitas udara, kesehatan manusia, dampak lingkungan dan ekonomi, kenyamanan termal, dan pemanasan global (Firozjaei et al., 2020).

KESIMPULAN

Fenomena UHI di Kota Baubau mengalami tren meningkat dan berpusat di utara wilayah. Distribusi UHI menunjukkan adanya korelasi terhadap persebaran area terbangun. Sedangkan intensitas UHI menunjukkan peningkatan hingga 2,6°C di tahun 2023. Perubahan tersebut menunjukkan adanya beberapa wilayah yang telah terdampak UHI di tahun 2023, yang diikuti oleh pola perubahan area terbangun. Uji korelasi menunjukkan adanya korelasi yang kuat antara suhu permukaan dengan kerapatan bangunan.

Setiap peningkatan area terbangun sebesar 1%, maka akan meningkatkan suhu udara rata-rata hingga 0,0847°C.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Universitas Indonesia yang telah membantu memfasilitasi penelitian dan semua pihak yang ikut terlibat langsung dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, A., & Quegan, S. 2013. Comparative analysis of supervised and unsupervised classification on multispectral data. *Applied Mathematical Sciences*, 7(74), 3681–3694. <http://dx.doi.org/10.12988/ams.2013.34214>

Aldiansyah, S., & Wardani, F. (2023). Analisis Spasio-Temporal Fenomena Urban Heat Island dan Hubungannya Terhadap Aspek Fisik di Kota Makassar (1993-2021). *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 24(1), 1–11. Retrieved from <https://ejournal.brin.go.id/JSTMC/article/view/907>

Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G., ... & Vazquez-Aguirre, J. L. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D5). <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>

Arianto, S. 2019. Suhu Panas di Baubau Belum Terkategori Ekstrem. Retrieved Juli 1, 2023, from <https://rubriksultra.com/2019/09/23/suhu-panas->

- di-baubau-belum-terkategori-ekstrem/.
- Arifwidodo, S., Chandrasiri, O., Abdulharis, R., & Kubota, T. 2019. Exploring the effects of urban heat island: A case study of two cities in Thailand and Indonesia. *APN Science Bulletin*, 9(1). doi:10.30852/sb.2019.539
- Artis, D. A., & Carnahan, W. H. 1982. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote Sensing of Environment*, 12(4), 313-329 [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(82\)90043-8](https://doi.org/10.1016/0034-4257(82)90043-8)
- Bhatti, S. S., & Tripathi, N. K. 2014. Built-up area extraction using Landsat 8 OLI imagery. *GIScience & remote sensing*, 51(4), 445-467. <https://doi.org/10.1080/15481603.2014.939539>
- Bonafoni, S., Baldinelli, G., & Verducci, P. 2017. Sustainable strategies for smart cities: Analysis of the town development effect on surface urban heat island through remote sensing methodologies. *Sustainable Cities and Society*, 29, 211-218. doi:10.1016/j.scs.2016.11.005.
- Congalton, R. G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1), 35-46. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)
- Estoque, R. C., Murayama, Y., & Myint, S. W. 2017. Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. *Science of the Total Environment*, 577, 349-359. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.195>
- Fahmi, F., Sitorus, S. R., & Fauzi, A. 2016. Evaluasi pemanfaatan penggunaan lahan berbasis rencana pola ruang Kota Baubau, Provinsi Sulawesi Tenggara. *Tataloka*, 18(1), 27-39.
- Fawzi, N. I. 2017. Mengukur urban heat island menggunakan penginderaan jauh, kasus di Kota Yogyakarta. *Majalah Ilmiah Globe*, 19(2), 195-206.
- Firozjaei, M. K., Fatholouloumi, S., Kiavarz, M., Arsanjani, J. J., & Alavipanah, S. K. 2020. Modelling surface heat island intensity according to differences of biophysical characteristics: A case study of Amol city, Iran. *Ecological Indicators*, 109, 105816. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105816>
- García-Herrera, R., Díaz, J., Trigo, R. M., Luterbacher, J., & Fischer, E. M. 2010. A review of the European summer heat wave of 2003. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 40(4), 267-306. <https://doi.org/10.1080/10643380802238137>
- Islam, S. M. M., Borić-Lubecke, O., Zheng, Y., & Lubecke, V. M. 2020. Radar-based non-contact continuous identity authentication. *Remote Sensing*, 12(14), 2279. <https://doi.org/10.3390/rs12142279>
- Jensen JR. 2005. *Introductory Digital Image Processing* (Third Edit). South California: Pearson Prentice Hall.
- Jones, G.W. 2010. The 2010 – 2035 Indonesian Population Projection: Understanding the Causes, Consequences and Policy Options for Population and Development. Retrieved January 29, 2023, from https://indonesia.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/Policy_brief_on_The_2010_%E2%80%932035_Indonesian_Population_Projection.pdf
- Kjellstrom, T., Holmer, I., & Lemke, B. 2009. Workplace heat stress, health and productivity—an increasing challenge for low and middle-income countries during climate change. *Global health action*, 2(1), 2047. <https://doi.org/10.3402/gha.v2i0.2047>
- Lemonsu, A., Viguie, V., Daniel, M., & Masson, V. 2015. Vulnerability to heat waves: Impact of urban expansion scenarios on urban heat island and heat stress in Paris (France). *Urban Climate*, 14, 586-605. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.10.007>
- Loughnan, M., Nicholls, N., & Tapper, N. J. 2012. Mapping heat health risks in urban areas. *International Journal of Population Research*, 2012. doi:10.1155/2012/518687
- Luo, M., & Lau, N. C. 2018. Increasing heat stress in urban areas of eastern China: Acceleration by urbanization. *Geophysical Research Letters*, 45(23), 13-060. <https://doi.org/10.1029/2018GL080306>
- Ma, Y., Kuang, Y., & Huang, N. 2010. Coupling urbanization analyses for studying urban thermal environment and its interplay with biophysical parameters based on TM/ETM+ imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12(2), 110-118. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2009.12.002>
- Maishella, A., Dewantoro, B. E. B., & Aji, M. A. P. 2020. Correlation analysis of urban development and land surface temperature using google earth engine in Sleman Regency, Indonesia. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 540, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.
- Marwasta, D. 2018. The Influence of Yogyakarta Urban Physical Development to Residential Comfort. In *KriE Social Sciences*, 3(5), 175-188. <https://doi.org/10.18502/kss.v3i5.2332>
- Mbow, H. O. P., Reisinger, A., Canadell, J., & O'Brien, P. 2017. Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems (SR2). Ginevra, IPCC, 650.
- Rafferty, A. E., Zimmer, A., Frierson, D. M., Startz, R., & Liu, P. 2017. Less than 2 C warming by 2100 unlikely. *Nature climate change*, 7(9), 637-641. <https://doi.org/10.1038/nclimate3352>
- Rajasekar, U., & Weng, Q. 2009. Spatio-temporal modelling and analysis of urban heat islands by using Landsat TM and ETM+ imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 30(13), 3531-3548 <https://doi.org/10.1080/01431160802562289>
- Rifkin, D. I., Long, M. W., & Perry, M. J. 2018. Climate change and sleep: A systematic review of the literature and conceptual framework. *Sleep medicine reviews*, 42, 3-9. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2018.07.007>
- Rozenstein, O., Qin, Z., Derimian, Y., & Karnieli, A. 2014. Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm. *Sensors*, 14(4), 5768-5780. <https://doi.org/10.3390/s140405768>
- Russo, S., Dosio, A., Graversen, R. G., Sillmann, J., Carrao, H., Dunbar, M. B., ... & Vogt, J. V. 2014. Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(22), 12-500. <https://doi.org/10.1002/2014JD022098>
- Singh, S., Hanna, E. G., & Kjellstrom, T. 2015. Working

- in Australia's heat: Health promotion concerns for health and productivity. *Health promotion international*, 30(2), 239-250. <https://doi.org/10.1093/heapro/dat027>
- Sobrino, J. A., & Raissouni, N. 2000. Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: Application to Morocco. *International journal of remote sensing*, 21(2), 353-366. <https://doi.org/10.1080/014311600210876>
- Sultana, S., & Satyanarayana, A. N. V. 2018. Urban heat island intensity during winter over metropolitan cities of India using remote-sensing techniques: Impact of urbanization. *International journal of remote sensing*, 39(20), 6692-6730. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1466072>
- Sun, Q., Miao, C., Hanel, M., Borthwick, A. G., Duan, Q., Ji, D., & Li, H. 2019. Global heat stress on health, wildfires, and agricultural crops under different levels of climate warming. *Environment international*, 128, 125-136. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.04.025>
- Tsou, J., Zhuang, J., Li, Y., & Zhang, Y. 2017. Urban heat island assessment using the Landsat 8 data: a case study in Shenzhen and Hong Kong. *Urban Science*, 1(1), 10. <https://doi.org/10.3390/urbansci1010010>
- Varquez, A. C. G., Darmanto, N. S., Honda, Y., Ihara, T., & Kanda, M. 2020. Future increase in elderly heat-related mortality of a rapidly growing Asian megacity. *Scientific reports*, 10(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66288-z>
- Wang, Y., Chen, L., Song, Z., Huang, Z., Ge, E., Lin, L., & Luo, M. 2019. Human-perceived temperature changes over South China: Long-term trends and urbanization effects. *Atmospheric Research*, 215, 116-127. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.09.006>
- Xu, H. 2005. A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI). *Journal of Remote Sensing-Beijing*, 9(5), 595.
- Xu, L. Y., Xie, X. D., & Li, S. 2013. Correlation analysis of the urban heat island effect and the spatial and temporal distribution of atmospheric particulates using TM images in Beijing. *Environmental Pollution*, 178, 102-114. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.006>
- Zander, K. K., Richerzhagen, C., & Garnett, S. T. 2019. Human mobility intentions in response to heat in urban South East Asia. *Global Environmental Change*, 56, 18-28. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.03.004>
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. 2003. Use of normalized difference built-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>
- Zheng, G., Li, K., & Wang, Y. 2019. The effects of high-temperature weather on human sleep quality and appetite. *International journal of environmental research and public health*, 16(2), 270. <https://doi.org/10.3390/ijerph16020270>