

Pemodelan Fenomena Urban Heat Island di Kawasan Metropolitan Semarang Tahun 2000-2020

R. C. Junjungan¹, A. W. Sejati²

^{1,1} Universitas Diponegoro, Indonesia

Article Info:

Received: 30 May 2022

Accepted: 02 June 2022

Available Online: 06 October 2023

Keywords:

Urban heat island; temperatur permukaan lahan; spasio temporal; Kawasan metropolitan Semarang

Corresponding Author:

Reinhart Christopher Junjungan
Diponegoro University,
Semarang, Indonesia
Email: cjpreinhart@gmail.com

Abstract: *Urban heat island merupakan fenomena perbedaan temperatur antara kawasan urban dan non urban. Fenomena tersebut berpotensi menimbulkan peningkatan kebutuhan energi listrik, intensitas smog, risiko keterpaparan penyakit cardiorespiratory, dan peluang gagal panen. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan fenomena urban heat island di Kawasan Metropolitan Semarang pada rentang 2000-2020. Model urban heat island diperoleh melalui hasil klasifikasi konversi band thermal citra Landsat 7 dan 8 menjadi temperatur permukaan lahan. Penelitian ini menemukan bahwa terjadi peningkatan proporsi luas rentang temperatur 25-30 °C dari 15% pada tahun 2000 menjadi 53,1% pada tahun 2020. Rentang tersebut juga menyebar dari pusat metropolitan ke kawasan periurban di sekitarnya. Pola sebaran yang mirip dengan urbanisasi seperti leap frog, ribbon, dan radial juga ditemukan dalam model urban heat island tahun 2020. Temuan ini diharapkan dapat menjadi masukan dalam kegiatan perencanaan penggunaan lahan dan tindakan mitigasi dampak negatif urban heat island.*

Copyright © 2016 JTPWK-UNDIP

This open access article is distributed under a Creative Commons Attribution (CC-BY-NC-SA) 4.0 International license.

How to cite (APA 6th Style):

Junjungan, R. C., & Sejati, A. W. (2023). Pemodelan Fenomena Urban Heat Island di Kawasan Metropolitan Semarang Tahun 2000-2020. *Jurnal Teknik PWK (Perencanaan Wilayah Dan Kota)*, 12(3), 214–220.

1. PENDAHULUAN

Urban heat island merupakan fenomena perbedaan temperatur antara kawasan urban dengan kawasan non urban (Effat & Hassan, 2014; Gago et al., 2013; Ningrum & Narulita, 2018; Sejati et al., 2019; Voogt & Oke, 2003). Fenomena ini terjadi karena kapasitas kalor material pembangun kawasan urban yang lebih tinggi daripada kawasan non urban di sekitarnya. Kalor tersebut kemudian dilepaskan bangunan ke lingkungan sekitarnya. Hal ini mengakibatkan kawasan urban lebih hangat daripada kawasan non urban di sekitarnya (Argüeso et al., 2014).

Fenomena ini diketahui dapat mengakibatkan gangguan pada lingkungan yang terdampak. *Urban heat island* diketahui dapat menimbulkan gangguan skala kecil seperti ketidaknyamanan temperatur (*gerah*), hingga skala besar seperti peningkatan konsentrasi *smog*, peningkatan kebutuhan energi listrik perkotaan, hingga kegagalan panen (Amorim, 2020; Hirano & Fujita, 2012; Kabano, Lindley, & Harris, 2021; Porangaba, Teixeira, Amorim, Da Silva, & Dubreuil, 2021). Penduduk usia tua dan memiliki komorbid yang tinggal di daerah terdampak UHI juga diketahui lebih rentan terhadap penyakit *cardiorespiratory* (Amorim, 2020; Li, Sodoudi, Liu, & Tao, 2020).

Urban heat island diketahui timbul sebagai akibat dari pertumbuhan penduduk, urbanisasi, konsumsi energi berlebihan, penurunan luas ruang hijau, dan penggunaan material bangunan tidak ramah lingkungan (Borbora & Das, 2014; Chen, Zhao, Li, & Yin, 2006; Giridharan, Ganesan, & Lau, 2004; Prilandita, 2009). Guha, Govil, Taloor, et al. (2021) menemukan bahwa fluktuasi luas kanopi memiliki korelasi negatif sebesar 44%

terhadap temperatur permukaan lahan. Sebaliknya, perubahan luas kawasan terbangun diketahui memiliki korelasi positif sebesar 71% terhadap temperatur permukaan lahan. Kawasan urban di metropolitan yang mengalami urbanisasi dan degradasi hutan biasanya mengalami peningkatan temperatur (Sejati, Buchori, & Rudiarto, 2018). Perbedaan temperatur dengan kawasan non urban di sekitarnya diidentifikasi sebagai *urban heat island*.

Kawasan Metropolitan Semarang adalah salah satu kawasan yang terdampak *urban heat island* akibat urbanisasi dan degradasi hutan. Kawasan ini diketahui mengalami urbanisasi sebanyak 74,2% pada rentang 1998-2018 (Sejati et al., 2018). Urbanisasi tersebut timbul akibat perkembangan kawasan permukiman dan peningkatan aktivitas industri. Model penelitian Sejati et al., 2018 menunjukkan bahwa pola urbanisasi Kawasan Metropolitan Semarang cenderung berbentuk *radial* dan *ribbon*. Buchori et al. (2017) dan Jiang et al. (2016) mengatakan bahwa pola *radial* timbul akibat pengembangan kawasan permukiman yang memenuhi preferensi calon pembeli properti untuk tinggal di lingkungan suburban. Pola *ribbon* timbul akibat adanya preferensi pengembangan kawasan komersial di sepanjang jalan utama. Sedangkan pola *leap frog* timbul akibat pengembangan kawasan industri yang menghendaki harga lahan yang lebih murah di daerah non urban daripada pusat kota.

Kawasan Metropolitan Semarang juga diketahui mengalami degradasi hutan sebanyak 38,1% pada rentang 1990-2015 (Sejati et al., 2018). Degradasi tersebut disebabkan karena adanya pergeseran peran pusat aktivitas yang meningkatkan perkembangan kawasan terbangun dari pusat Kota Semarang ke Mranggen, Kabupaten Demak dan Ungaran, Kabupaten Semarang. Selain itu, industrialisasi di Kaliwungu, Kabupaten Kendal dan Sayung, Kabupaten Demak juga berkontribusi terhadap urbanisasi ke arah timur dan barat Kota Semarang.

Dampak peningkatan temperatur permukaan lahan akibat urbanisasi di Kawasan Metropolitan Semarang ditemukan pada penelitian Sejati et al. (2019). Kawasan pusat Kota Semarang yang awalnya memiliki rentang temperatur permukaan lahan 26-30 °C di tahun 1998 mengalami peningkatan temperatur ke rentang >30 °C di tahun 2018. Peningkatan tersebut terjadi di seluruh kawasan metropolitan mengikuti pola urbanisasi yang timbul. Namun, kawasan dengan tutupan vegetasi berkanopi cenderung memiliki rentang temperatur yang lebih rendah.

Peningkatan intensitas UHI dikhawatirkan memperbesar peluang peningkatan konsentrasi *smog*, kebutuhan energi listrik, dan keterpaparan penyakit *cardiorespiratory* bagi penduduk di kawasan urban Metropolitan Semarang. Selain itu, mitigasi risiko ke kawasan non urban juga perlu dilakukan untuk mencegah timbulnya gangguan akibat UHI. Oleh sebab itu, penelitian ini perlu dilakukan sebagai bentuk pengawasan terhadap fenomena UHI di Kawasan Metropolitan Semarang.

Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan fenomena *urban heat island* di Kawasan Metropolitan Semarang. Model penelitian diperoleh menggunakan konversi *band thermal* citra Landsat 7 dan 8 ke temperatur permukaan lahan. Hasil temuan kemudian akan dibandingkan secara spasiotemporal untuk dilihat perkembangannya. Temuan penelitian ini diharapkan dapat dijadikan pertimbangan dalam perencanaan penggunaan lahan dan mitigasi dampak negatif *urban heat island*.

2. DATA DAN METODE

2.1. Data Penelitian

Penelitian ini akan menggunakan data citra satelit untuk memodelkan fenomena UHI pada tahun 2000-2020. Citra satelit yang digunakan adalah citra Landsat 7 dan 8 yang dapat diakses melalui kanal *United States Geological Survey* (USGS). *Band* yang digunakan dalam analisis adalah *band thermal, red*, dan *infrared (band 3, 4, dan 6 pada Landsat 7 dan band 4, 5, dan 10 pada Landsat 8)*. *Band* tersebut kemudian akan dikonversi menjadi temperatur permukaan lahan dan direklasifikasi untuk memodelkan fenomena UHI.

2.2. Metode Analisis Penelitian

Model temperatur permukaan lahan diperoleh melalui pengolahan citra *time series* Landsat 8 menjadi ToA *Radiance* menurut persamaan berikut (Effat & Hassan, 2014; Ningrum & Narulita, 2018):

$$L\lambda = ML \times Qcal + AL \quad (1)$$

Keterangan $L\lambda$ adalah radiasi spektral (spectral radiance) $W / (m^2sr \mu m)$, $Qcal$ adalah nilai piksel digital number (DN), ML adalah konstanta rescaling, diperoleh pada *metadata* citra (*radiance mult band*) AL adalah konstanta penambah, diperoleh pada *metadata* citra (*radiance add band*). Kemudian, ToA *Radiance* dikonversi menjadi *Brightness Temperature* menggunakan persamaan berikut (Effat & Hassan, 2014; Ningrum & Narulita, 2018):

$$TB = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{K2} + 1\right)} \quad (2)$$

Keterangan TB adalah *Thermal Brightness* (K), $K1$ & $K2$ adalah konstanta kalibrasi diperoleh pada *metadata* citra. Demi menghasilkan ukuran yang mendekati temperatur udara, mengikuti saran penelitian Kawashima et al. (2000), penelitian akan menggunakan emisivitas tanaman berbasis indeks kehijauan tanaman. Indeks NDVI dapat diperoleh menggunakan perhitungan berikut:

$$NDVI = \frac{DN \text{ Band Inframerah} - \text{Band Merah}}{DN \text{ Band Inframerah} + \text{Band Merah}} \quad (3)$$

Perhitungan emisivitas akan dilakukan menggunakan metode yang digunakan Alsultan et al. (2005) dan Sobrino et al. (2004). Apabila nilai suatu piksel NDVI kurang dari sama dengan 0,2, piksel tersebut akan dianggap sebagai tanah kosong dengan nilai emisivitas 0,97. Sedangkan, piksel NDVI dengan nilai lebih dari sama dengan 0,5 akan dianggap sebagai vegetasi subur dengan nilai konstanta 0,99. Apabila nilai NDVI lebih dari 0,2 dan kurang dari 0,5, maka akan dilakukan perhitungan emisivitas sebagai berikut:

$$Pv = [(NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min})]^2 \quad (4)$$

$$d\varepsilon = (1 - \varepsilon_s)(1 - Pv)F \times \varepsilon v \quad (5)$$

$$\varepsilon = \varepsilon v Pv + \varepsilon_s(1 - Pv) \times d\varepsilon \quad (6)$$

Keterangan nilai $NDVI_{min}$ adalah 0,2 nilai $NDVI_{max}$ adalah 0,5 proporsi adalah vegetasi, ε adalah emisivitas, εv adalah emitas tanaman dengan nilai 0,99, ε_s adalah emisivitas tanah mengikuti asumsi, $d\varepsilon$ adalah efek geometri permukaan dan F adalah konstanta permukaan tanah heterogen dengan nilai 0,55. Nilai LST kemudian dapat diperoleh melalui persamaan berikut:

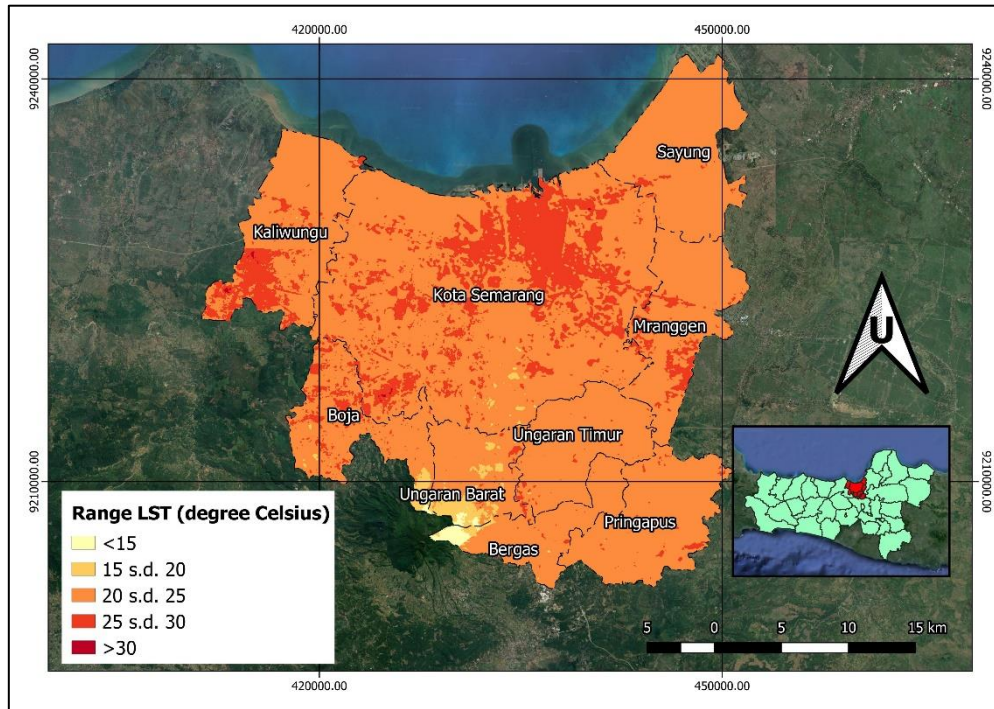
$$LST = \frac{TB}{1 + (\lambda \sigma TB / hc) \ln \varepsilon} \quad (7)$$

Keterangan LST adalah temperatur permukaan lahan, TB adalah *Thermal Brightness* (K), λ adalah Panjang gelombang efektif *band thermal* (11,475 μm), σ adalah konstanta Boltzmann (1,38 x 10⁻²³ J/K), *hadalah* Konstanta Plank (6,626 x 10⁻³⁴ Js), c adalah Kecepatan cahaya (2,998 x 10⁸ m/sc), ε adalah Emisivitas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1 merupakan model temperatur permukaan Lahan Kawasan Metropolitan Semarang tahun 2000. Nilai temperatur yang dominan teridentifikasi berada pada rentang 25-30 °C. Daerah periurban yang berdekatan dengan pusat metropolitan memiliki rentang temperatur 20-25 °C. Kawasan non urban yang berdekatan dengan puncak Gunung Ungaran memiliki rentang temperatur <15 °C dan 15-20 °C. Pola sebaran rentang temperatur ini serupa dengan model tahun 1998 temuan Sejati et al., (2019).

Gambar 1 Model *Urban Heat Island* Tahun 2000 (Hasil Analisis, 2022)



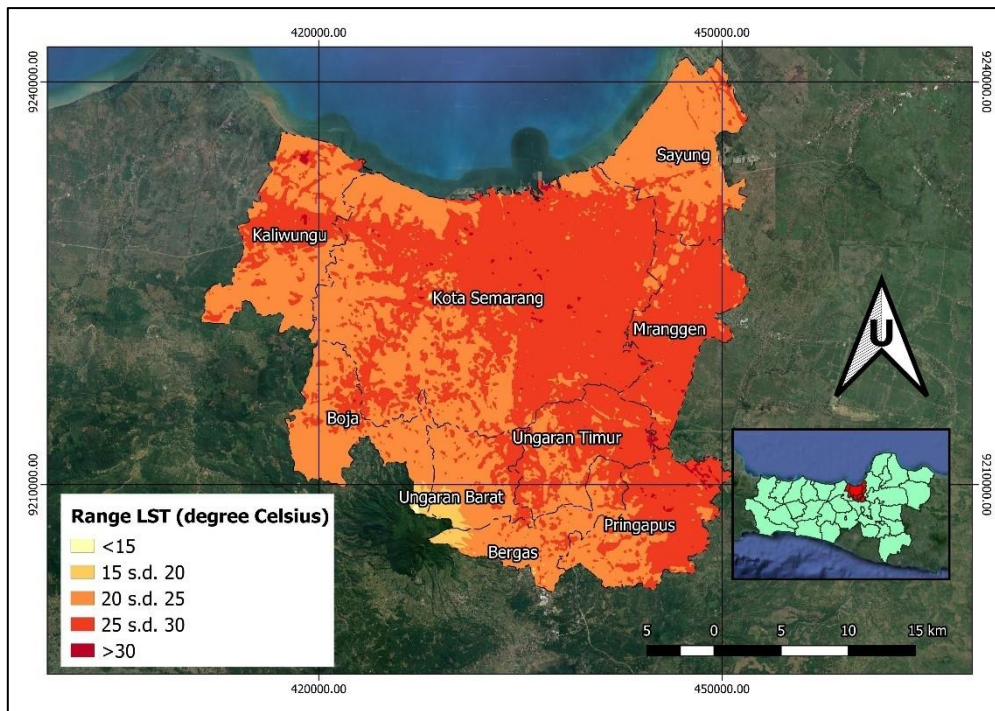
Tabel 1 Model *Urban Heat Island* Tahun 2000 (Hasil Analisis, 2022)

Range LST	Luas (km ²)	Persentase
<15	4,08	0,44%
15-20	15,28	1,63%
20-25	775,28	82,92%
25-30	139,93	15,0%
>30	0,43	0,0%
Total	935	100%

Peningkatan temperatur terjadi di sebagian besar Kawasan Metropolitan Semarang pada tahun 2020. Luas kawasan dengan rentang temperatur 25-30 °C nampak menyebar ke sebelah timur dan tenggara pusat metropolitan. Rentang tersebut kini memiliki proporsi luas 53,1% yang meningkat dari 15% pada tahun 2000. Daerah yang berdekatan dengan kawasan urban memiliki rentang temperatur 20-25 °C. Daerah non urban, terutama yang berdekatan dengan Gunung Ungaran, memiliki rentang temperatur <15 °C dan 15-20 °C. Peningkatan ini juga ditemukan dalam penelitian Sejati et al. (2019).

Sebaran pola UHI teridentifikasi mirip dengan pola urbanisasi temuan Jiang et al. (2016). Perkembangan kawasan permukiman ke arah timur, barat, dan selatan pusat metropolitan membentuk pola *radial*. Peningkatan aktivitas komersial di sepanjang jalan utama membentuk pola *ribbon*. Industrialisasi di kawasan non urban membentuk titik-titik panas dengan pola *leap frog*. Peristiwa urbanisasi yang terjadi di kawasan yang dulunya merupakan non urban seperti Mranggen, Ungaran, Kaliwungu, dan Sayung juga dapat dilihat melalui sebaran rentang temperatur permukaan tertinggi (Sejati et al., 2018). Apabila disejajarkan dengan peristiwa urbanisasi tersebut, temuan ini sejalan dengan pernyataan Guha et al. (2021) yang mengatakan bahwa fluktuasi luas tutupan lahan terbangun dan vegetasi berkanopi memengaruhi nilai temperatur permukaan lahan.

Gambar 2 Peta Penutup Lahan Kota Semarang Tahun 2020 (Analisis, 2022)



Tabel 2. Model *Urban Heat Island* Tahun 2020 (Analisis, 2022)

Range LST	Luas (km ²)	Persentase
<15	1,47	0,16%
15-20	10,28	1,10%
20-25	421,06	45,03%
25-30	496,77	53,1%
>30	5,42	0,6%
Total	935	100%

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil memodelkan fenomena *urban heat island* yang terjadi di Kawasan Metropolitan Semarang pada rentang 2000-2020. Peningkatan temperatur terjadi hampir di seluruh metropolitan dalam 20 tahun. Rentang temperatur 25-30 °C yang awalnya hanya berada di pusat kawasan metropolitan menyebar ke daerah periurban pada tahun 2020. Sebaran rentang temperatur yang dominan dalam penelitian ini memiliki pola yang serupa dengan urbanisasi yang terjadi di kawasan metropolitan.

Pola *radial*, *ribbon*, dan *leap frog* yang ditimbulkan oleh rentang temperatur 25-30 °C mirip dengan pola urbanisasi. Rentang tersebut menyebar ke daerah yang sebelumnya merupakan kawasan *non urban* seperti Mranggen, Ungaran, Kaliwungu, dan Sayung. Temperatur permukaan lahan kemudian mengalami penurunan seiring menjauh dari pusat kota. Temuan ini, disejajarkan dengan temuan degradasi hutan dan urbanisasi dalam rentang tiga dekade terakhir, menegaskan kontribusi pengurangan luas tutupan lahan dan peningkatan luas lingkungan terbangun terhadap intensitas UHI.

Penambahan luas kawasan vegetasi berkanopi perlu ditambah di kawasan urban dengan rentang temperatur permukaan lahan 25-30 °C dan >30 °C untuk mengurangi dampak yang dapat ditimbulkan UHI. Selain itu, pihak pengembang di kawasan urban disarankan untuk mengurangi penggunaan material dengan kapasitas kalor tinggi. Laju urbanisasi juga perlu dikendalikan agar kawasan non urban tidak terdampak UHI. Daerah-daerah yang terdampak UHI sebaiknya juga segera merumuskan kebijakan terkait UHI sebagai bentuk mitigasi bencana.

Penelitian terkait *urban heat island* ke depannya sebaiknya dibuat dengan mempertimbangkan faktor-faktor fisik seperti tutupan lahan serta non fisik seperti kepadatan penduduk, proporsi penduduk usia tua, dan jenis kelamin. Pertimbangan-pertimbangan tersebut diperlukan untuk meneliti besar kerugian yang mungkin ditimbulkan oleh *urban heat island*. Apabila memungkinkan, penelitian dengan skala mikro menggunakan citra resolusi tinggi dapat pula dilakukan. Penelitian tersebut dapat digunakan untuk menimbang besaran dampak UHI dan dampaknya dalam bentuk penggunaan energi listrik untuk pendingin ruangan.

5. REFERENSI

- Alsultan, S., Lim, H. S., MatJafri, M. Z., & Abdullah, K. (2005). An algorithm for land surface temperature analysis of remote sensing image coverage over AlQassim, Saudi Arabia. *From Pharaohs to Geoinformatics FIG Working Week*, 16–21.
- Amorim, M. C. de C. T. (2020). Daily evolution of urban heat islands in a Brazilian tropical continental climate during dry and rainy periods. *Urban Climate*, 34, 100715.
- Argüeso, D., Evans, J. P., Fita, L., & Bormann, K. J. (2014). Temperature response to future urbanization and climate change. *Climate Dynamics*, 42(7–8), 2183–2199.
- Borbora, J., & Das, A. K. (2014). Summertime urban heat island study for Guwahati city, India. *Sustainable Cities and Society*, 11, 61–66.
- Buchori, I., Sugiri, A., Maryono, M., Pramitasari, A., & Pamungkas, I. T. D. (2017). Theorizing spatial dynamics of metropolitan regions: A preliminary study in Java and Madura Islands, Indonesia. *Sustainable Cities and Society*, 35, 468–482.
- Chen, X.-L., Zhao, H.-M., Li, P.-X., & Yin, Z.-Y. (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, 104(2), 133–146.
- Effat, H. A., & Hassan, O. A. K. (2014). Change detection of urban heat islands and some related parameters using multi-temporal Landsat images; a case study for Cairo city, Egypt. *Urban Climate*, 10, 171–188.
- Gago, E. J., Roldan, J., Pacheco-Torres, R., & Ordóñez, J. (2013). The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 749–758.
- Giridharan, R., Ganesan, S., & Lau, S. S. Y. (2004). Daytime urban heat island effect in high-rise and high-density residential developments in Hong Kong. *Energy and Buildings*, 36(6), 525–534.
- Guha, S., Govil, H., Taloor, A. K., Gill, N., & Dey, A. (2021). Land surface temperature and spectral indices: A seasonal study of Raipur City. *Geodesy and Geodynamics*.
- Hirano, Y., & Fujita, T. (2012). Evaluation of the impact of the urban heat island on residential and commercial energy consumption in Tokyo. *Energy*, 37(1), 371–383.
- Jiang, G., Ma, W., Qu, Y., Zhang, R., & Zhou, D. (2016). How does sprawl differ across urban built-up land types in China? A spatial-temporal analysis of the Beijing metropolitan area using granted land parcel data. *Cities*, 58, 1–9.
- Kabano, P., Lindley, S., & Harris, A. (2021). Evidence of urban heat island impacts on the vegetation growing season length in a tropical city. *Landscape and Urban Planning*, 206, 103989.
- Kawashima, S., Ishida, T., Minomura, M., & Miwa, T. (2000). Relations between surface temperature and air temperature on a local scale during winter nights. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 39(9), 1570–1579.

- Li, H., Sodoudi, S., Liu, J., & Tao, W. (2020). Temporal variation of urban aerosol pollution island and its relationship with urban heat island. *Atmospheric Research*, 241, 104957.
- Ningrum, W., & Narulita, I. (2018). Deteksi Perubahan Suhu Permukaan Menggunakan Data Satelit Landsat Multi-Waktu Studi Kasus Cekungan Bandung. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(2), 145–154.
- Porangaba, G. F. O., Teixeira, D. C. F., Amorim, M. C. de C. T., Da Silva, M. H. S., & Dubreuil, V. (2021). Modeling the urban heat island at a winter event in Três Lagoas, Brazil. *Urban Climate*, 37, 100853.
- Prilandita, N. (2009). Perceptions and Responses to Warming in an Urban Environment: A Case Study of Bandung City, Indonesia. *J Journal Infrastructure and Built Environment*, 1, 51–58.
- Sejati, A., Buchori, I., & Rudiarto, I. (2018). The impact of urbanization to forest degradation in Metropolitan Semarang: A preliminary study. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 123(1), 12011.
- Sejati, A., Buchori, I., & Rudiarto, I. (2019). The spatio-temporal trends of urban growth and surface urban heat islands over two decades in the Semarang Metropolitan Region. *Sustainable Cities and Society*, 46, 101432.
- Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90(4), 434–440.
- Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370–384.