

Analisis Perubahan Distribusi *Urban Heat Island* (UHI) di Kota Surabaya Menggunakan Citra Satelit Landsat Multitemporal

Arik Yumna Pratiwi dan Lalu Muhamad Jaelani

Departemen Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS),

e-mail: lmjaelani@geodesy.its.ac.id

Abstrak—Surabaya merupakan kota terbesar kedua di Indonesia setelah Jakarta, dimana jumlah penduduk kota Surabaya setiap tahunnya selalu mengalami kenaikan. Peningkatan populasi penduduk di wilayah perkotaan dapat mengubah pola ruang kawasan perkotaan. Penggunaan lahan akan bergeser dari keperluan pertanian menjadi keperluan tempat tinggal, kawasan bisnis/industri dan aktivitas lainnya. Perubahan tutupan lahan ini akan berdampak pada kondisi iklim dan cuaca di kawasan perkotaan sehingga menyebabkan terjadinya fenomena *Urban Heat Island* (UHI). Pemantauan fenomena ini diperlukan di perkotaan yang mengalami perkembangan pesat, termasuk di Kota Surabaya. Pada penelitian ini akan dianalisis perubahan distribusi *Urban Heat Island* (UHI) di Kota Surabaya pada tahun 2002, 2014, dan 2019 menggunakan Citra Landsat 7 (ETM+) dan Citra Landsat 8 (OLI/TIRS). Langkah awal yang dilakukan berupa perhitungan *Land Surface Temperature* (LST) dengan metode *Single-Channel Algorithm*, kemudian dilakukan analisis distribusi UHI dengan metode *Ambang Batas* dan *Hot Spot Analysis* (Getis-Ord G_i^*). Hasilnya didapatkan nilai suhu permukaan rata-rata Kota Surabaya untuk tahun 2002, 2014, dan 2019 secara berurutan sebesar 29,094°C; 26,889°C; dan 27,130°C. Uji korelasi *Pearson Product Moment* dilakukan antara LST dengan suhu lapangan, diperoleh hasil koefisien korelasi (R_{xy}) sebesar 0,449. Terakhir, dari peta distribusi UHI metode *Ambang Batas*, luas area yang terdampak UHI selalu mengalami penurunan dari tahun 2002 ke 2014, dan 2014 ke 2019 dengan luas penurunan masing-masing sebesar 0,760 km² dan 7,995 km². Hal yang sama juga terjadi untuk metode *Hot Spot Analysis*, dengan luas penurunan pada tahun 2002 ke 2014, dan 2014 ke 2019 sebesar 2,027 km² dan 31,168 km².

Kata Kunci—*Ambang Batas, Hot Spot Analysis, Land Surface Temperature, Single Chanel Algorithm, Urban Heat Island.*

I. PENDAHULUAN

SURABAYA merupakan kota terbesar kedua di Indonesia setelah Jakarta. Jumlah penduduk kota Surabaya setiap tahunnya selalu meningkat. Tercatat jumlah penduduk Surabaya pada Bulan Januari 2019 adalah sebanyak 3.095.026 jiwa. Tren peningkatan jumlah penduduk di Kota Surabaya juga dapat dilihat dari data jumlah penduduk tahun 2010-2017, yang selalu mengalami peningkatan dengan laju pertumbuhan penduduk sebesar 0,52% [1]. Peningkatan populasi penduduk di perkotaan dapat meningkatkan konsumsi energi baik untuk keperluan rumah tangga, industri, maupun transportasi. Selain itu, penggunaan lahan akan bergeser dari keperluan pertanian menjadi keperluan tempat tinggal dan sebagainya. Perubahan tutupan lahan ini

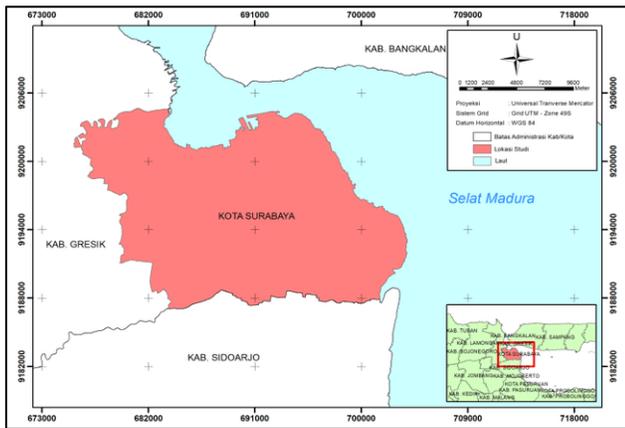
berdampak pada kondisi iklim dan cuaca di kawasan perkotaan [2]. Salah satu dampak dari peningkatan jumlah penduduk di perkotaan adalah terjadinya fenomena *Urban Heat Island* (UHI).

UHI adalah salah satu fenomena di mana kondisi suhu di daerah perkotaan, dan pusat kota khususnya, lebih tinggi daripada suhu daerah sekitarnya [3]-[4]. Beberapa dampak negatif dari UHI antara lain dapat mempengaruhi flora perkotaan, iklim, konsentrasi polutan, kualitas udara, kesehatan manusia, dampak lingkungan dan ekonomi, kenyamanan termal, dan pemanasan global. Hal ini memainkan peran besar pada kualitas kehidupan perkotaan [5].

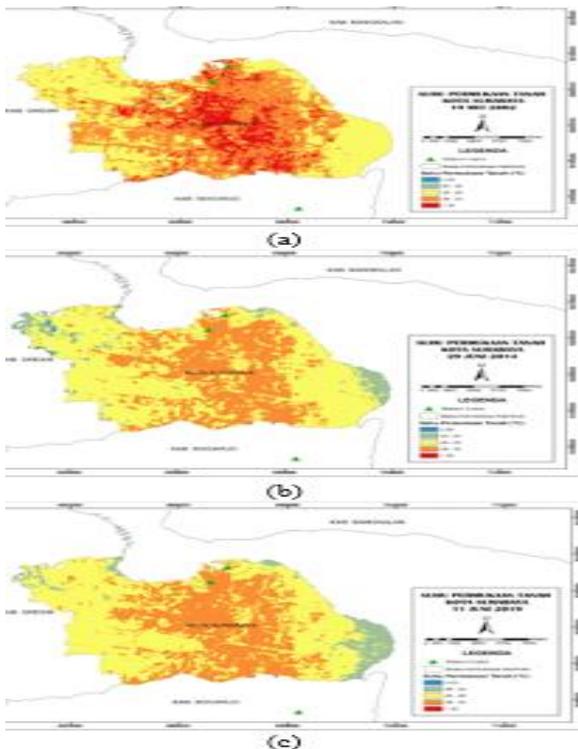
Salah satu faktor untuk mengkaji UHI adalah Suhu Permukaan Tanah (SPT). SPT ini menjadi salah satu parameter utama untuk mengendalikan dan menilai proses fisik, kimia, dan biologis dari permukaan bumi serta mempelajari iklim perkotaan [6]- [7]. Data suhu telah direkam di stasiun cuaca dan menyajikan data temporal yang baik, namun data tersebut masih harus diinterpolasi terlebih dahulu dan mungkin tidak secara akurat mencerminkan suhu perkotaan dan tidak memiliki resolusi spasial yang sesuai, sehingga citra penginderaan jauh dianggap sebagai sumber informasi yang tepat untuk membuat peta suhu permukaan tanah [8].

Selain perekaman secara insitu melalui stasiun cuaca, pemantauan melalui wahana antariksa seperti Citra Landsat 7 (ETM+) dan Landsat 8 (OLI/TIRS) dapat berperan penting untuk analisis UHI karena perekaman dilakukan secara terus menerus dan pada cakupan area yang luas. Landsat dilengkapi dengan kanal Inframerah Termal dengan resolusi masing-masing 60m dan 100m untuk mendeteksi suhu permukaan [9]. Resolusi tersebut lebih tinggi dibandingkan citra lainnya yang juga memiliki kanal termal, diantaranya Citra NOAA-AVHRR (1,1 km) dan Citra MODIS (250m) [10].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan distribusi *Urban Heat Island* (UHI) di Kota Surabaya menggunakan Citra Landsat 7 dan 8 pada tahun 2002, 2014, dan 2019. Pertama-tama dilakukan perhitungan *Land Surface Temperature* (LST) dengan metode *Single-Chanel Algorithm*, kemudian dilakukan analisis distribusi UHI dengan metode *Ambang Batas* dan *Hot Spot Analysis*. Harapan penulis bahwa hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi bagi masyarakat, pemerintah maupun pihak perencana pembangunan kota dalam mengatasi fenomena UHI serta merancang mitigasinya.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian.



Gambar 2. Peta Suhu Permukaan Tanah Kota Surabaya: (a) 19 Mei 2002, (b) 29 Juni 2014, (c) 11 Juni 2019.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian adalah di Kota Surabaya, Jawa Timur yang terletak antara 7° 9' s.d 7°21' LS dan 112°36' s.d 112°54' BT. Luas wilayah Kota Surabaya ±326,36 km² yang terbagi dalam 31 Kecamatan dan 154 Desa/Kelurahan dapat dilihat pada Gambar 1.

B. Data dan Peralatan

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Citra Landsat 8 OLI/TIRS Level 1 dan Level 2 wilayah Kota Surabaya (*Path 118, Row 65*) yang diakuisisi pada 11 Juni 2019

Tabel 1.
Interpretasi Nilai *Kappa Accuracy*

<i>Kappa Accuracy</i>	Akurasi
0 – 0,4	rendah
0,4 – 0,8	sedang
0,8 – 1	tinggi

Sumber: Utami 2016

Tabel 2.
Interval Kekuatan Korelasi

No.	Koefisien Korelasi	Kekuatan Korelasi
1	0,00	Tidak ada korelasi
2	0,00 - 0,25	Korelasi sangat lemah
3	0,25 - 0,50	Korelasi cukup
4	0,50 - 0,75	Korelasi kuat
5	0,75 - 0,99	Korelasi sangat kuat
6	1,00	Korelasi sempurna

Sumber: Sarwono 2006 dalam Azhali 2019

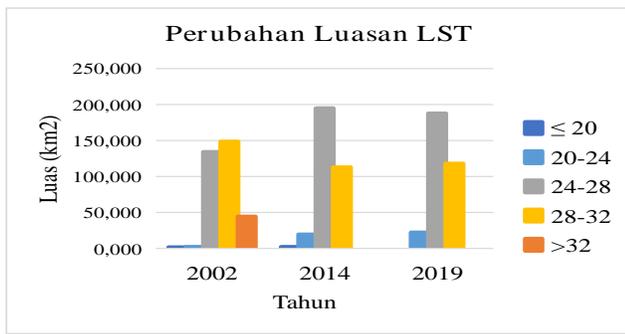
Tabel 3.
Statistik Peta Suhu Permukaan Tanah

Tanggal	Min.	Maks.	Rata-rata	Standar Deviasi
19 Mei 2002	13,774°C	36,996°C	29,094°C	2,431°C
29 Juni 2014	17,675°C	31,213°C	26,889°C	1,817°C
11 Juni 2019	21,142°C	31,913°C	27,130°C	1,712°C

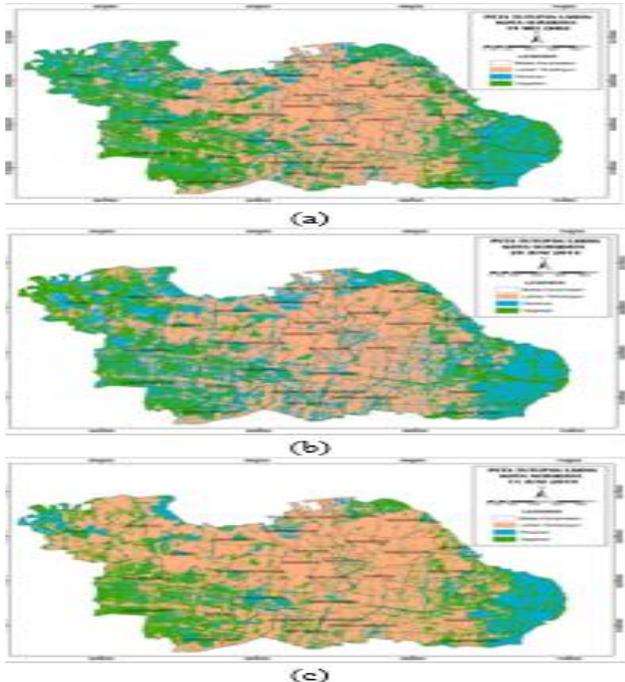
Tabel 4.
Perhitungan Uji Korelasi LST dengan Data Stasiun Cuaca

Waktu	Nama Stasiun	Suhu Lapangan (°C)	LST (°C)
19/05/2002	Juanda	30	28,407
	Perak I	30,8	30,364
	Perak II	30	31,812
29/06/2014	Juanda	28,8	28,209
	Perak I	29,8	28,241
	Perak II	30,1	28,330
11/06/2019	Juanda	29,6	27,743
	Perak I	30,6	28,982
	Perak II	29,8	28,069
Total (Σ) :		269,5	260,157
Rata-rata :		29,944	28,906
R _{xy} :		0,449	

- b. Citra Landsat 8 OLI/TIRS Level 1 dan Level 2 wilayah Kota Surabaya (*Path 118, Row 65*) yang diakuisisi pada 29 Juni 2014
 - c. Citra Landsat 7 ETM+ Level 1 dan Level 2 wilayah Kota Surabaya (*Path 118, Row 65*) yang diakuisisi pada 19 Mei 2002
 - d. Vektor Batas Administrasi Kab/Kota skala 1:25000 tahun 2015 yang diperoleh dari BIG
 - e. Data cuaca sesuai dengan tanggal akuisisi citra diperoleh dari Stasiun Meteorologi Juanda, Stasiun Meteorologi Perak I, dan Stasiun Meteorologi Maritim Perak II milik BMKG.
 - f. Data sampel lapangan yang diambil pada April 2019 untuk uji akurasi tutupan lahan, diperoleh dari penelitian yang dilakukan oleh Handis M. [11].
- Adapun perangkat lunak yang dipergunakan meliputi pengolah



Gambar 3. Diagram Perubahan Luasan LST.



Gambar 4. Tutupan Lahan Kota Surabaya: (a) 19 Mei 2002, (b) 29 Juni 2014, (c) 11 Juni 2019.

citra, pengolah data spasial, pengolah kata, pengolah angka, dan *Google Earth Pro*.

C. Tahapan Pengolahan Data

1) Pemilihan Citra

Citra Landsat 7 dan 8 Level 1 dan 2, dipilih dengan kriteria tutupan awan $\leq 10\%$, kemudian *Geometric RMSE* $\leq 15m$ karena nilai *RMSE* yang baik adalah dibawah 0,5 piksel sehingga kesalahan tidak melebihi setengah dari resolusi spasial suatu citra, dimana resolusi kanal multispektral dari Citra Landsat 7 dan 8 adalah 30 m.

2) Pemotongan Citra

Pemotongan citra dilakukan menggunakan vektor batas administrasi Kab/Kota skala 1:25000 tahun 2015 yang diperoleh dari BIG. Hal ini dilakukan untuk menyederhanakan pemrosesan citra selanjutnya.

3) Pengolahan Citra Level 2

a. Kalibrasi Radiometrik

Citra Landsat Level 2 telah terkoreksi geometrik dan sudah dalam bentuk *Surface Reflectance* ($\rho_{BOA(\lambda)}$) sehingga tidak memerlukan koreksi geometrik dan radiometrik. Namun, data Citra Landsat

Tabel 5. Nilai UHI Tahun 2002, 2014, dan 2019

Tahun	Ambang Batas (°C)	Nilai UHI Maksimum (°C)
2002	30,310	6,686
2014	27,798	3,415
2019	27,986	3,927

Tabel 6. Perubahan Luasan UHI (Ambang Batas)

Tahun	Metode Ambang Batas		Metode <i>Hot Spot Analysis</i>	
	Luas Non-UHI (%)	Luas UHI (%)	Luas Non-UHI (%)	Luas UHI (%)
2002	61,013	38,987	70,249	29,751
2014	61,244	38,756	70,866	29,134
2019	63,678	36,322	80,356	19,644

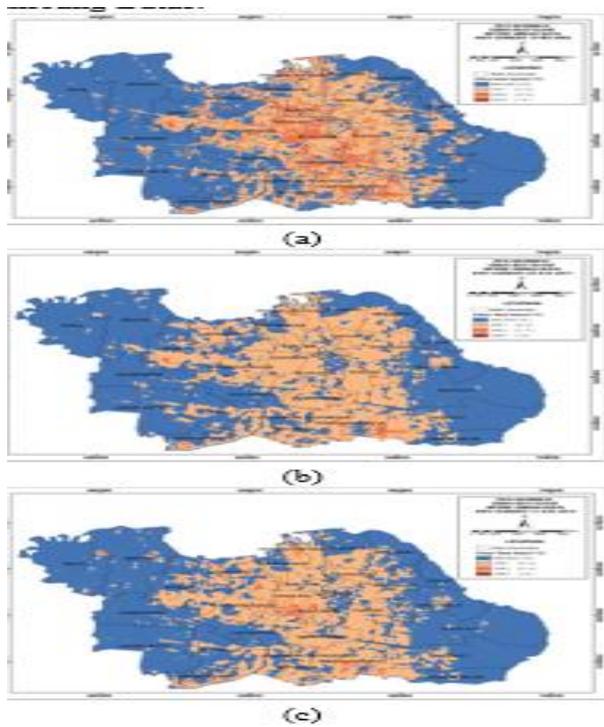
Tabel 7. Rangkuman Validasi Lapangan Peta UHI

Kategori UHI	Metode Ambang Batas	
	Tutupan Lahan	Kondisi RTH
Non-UHI	Tambak, sawah, lahan terbuka	Dipenuhi vegetasi atau banyak vegetasi, sawah basah
UHI 1	Pemukiman, jalan, bangunan industri	Ada vegetasi di halaman rumah-rumah, dan di pinggir jalan
UHI 2	Pemukiman padat, Bangunan Industri, pelabuhan	Sedikit vegetasi hingga tidak ada sama sekali
UHI 3	Bangunan Industri, lahan terbuka atau lapangan, pusat perbelanjaan	Sedikit vegetasi hingga tidak ada sama sekali
Metode <i>Hot Spot Analysis</i>		
Kategori UHI	Tutupan Lahan	Kondisi RTH
Cold Spot 99%	Tambak, danau, sawah	Dipenuhi vegetasi atau banyak vegetasi
Cold Spot 95%	Tambak, danau, sawah, lahan terbuka	Dipenuhi vegetasi atau banyak vegetasi
Cold Spot 90%	Tambak, danau, sawah, lahan terbuka, taman	Dipenuhi vegetasi atau banyak vegetasi
Non-Significant	Lahan terbuka, pemukiman, sawah	banyak vegetasi
Hot Spot 90%	Pemukiman, Pemukiman padat	Ada vegetasi di halaman rumah-rumah
Hot Spot 95%	Pemukiman, Pemukiman padat, jalan raya, Bangunan Industri	sedikit vegetasi di halaman rumah-rumah, di pinggir jalan, tidak ada vegetasi pada bangunan industri
Hot Spot 99%	Bangunan Industri, pergudangan, pelabuhan, pemukiman padat, lahan terbuka atau lapangan, TPA	Sedikit vegetasi hingga tidak ada sama sekali

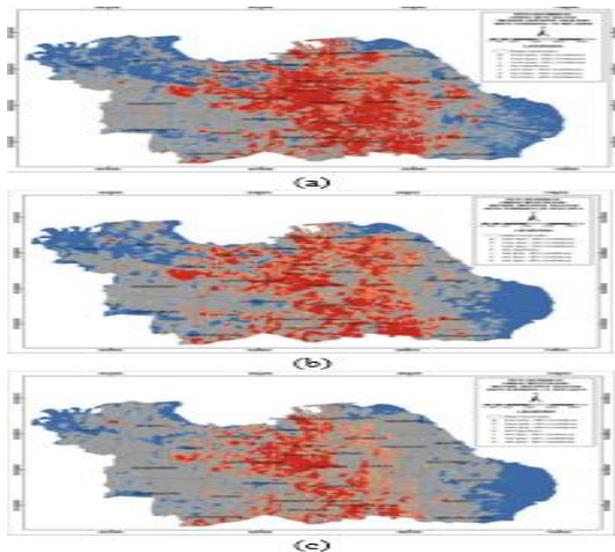
Level 2 disimpan dalam bentuk *Digital Number (DN)* atau dalam tipe *integer*, untuk mengubahnya menjadi tipe *float* maka harus dikalibrasi dahulu dengan cara membaginya dengan faktor skala sebesar 10000.

b. Klasifikasi Tutupan Lahan

Klasifikasi dilakukan menggunakan metode Klasifikasi Terbimbing *Maximum Likelihood* untuk mendapatkan informasi tutupan lahan Kota Surabaya. Kelas tutupan lahan yang dibuat terdiri dari kelas vegetasi, lahan terbangun, dan perairan. Selanjutnya dilakukan uji akurasi dengan kriteria *Overall Accuracy* $\geq 80\%$ [12]. Kemudian dari nilai *Kappa Accuracy*, akurasi yang dihasilkan dapat diinterpretasi dapat



Gambar 5. Peta Distribusi UHI Metode Ambang Batas Kota Surabaya: (a) 19 Mei 2002, (b) 29 Juni 2014, (c) 11 Juni 2019.



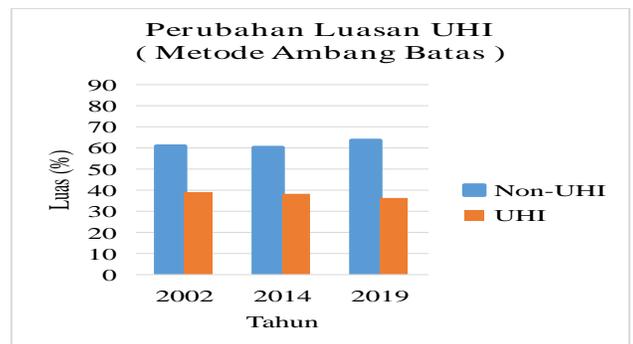
Gambar 6. Peta Distribusi UHI Metode Hot Spot Analysis Kota Surabaya: (a) 19 Mei 2002, (b) 29 Juni 2014, (c) 11 Juni 2019.

dilihat pada Tabel 1 [13]. Menggunakan data sampel lapangan sebanyak 200 titik.

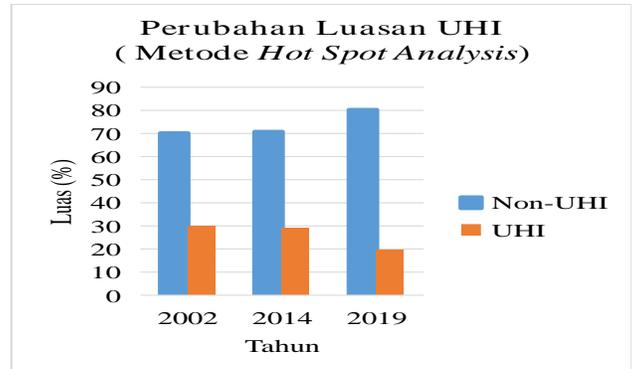
c. NDVI

NDVI merupakan pengolahan citra dengan mengombinasikan kanal Inframerah Dekat dan Merah yang telah terkoreksi atmosfer menjadi citra baru yang menunjukkan nilai kehijauan dari citra tersebut. Perhitungan NDVI menggunakan persamaan berikut [14].

$$NDVI = \frac{\rho_{BOA} (Inframerah Dekat) - \rho_{BOA} (Merah)}{\rho_{BOA} (Inframerah Dekat) + \rho_{BOA} (Merah)} \quad (1)$$



(a)



(b)

Gambar 7. Diagram Perubahan Luasan UHI: (a) Metode Ambang Batas, (b) Metode Hot Spot Analysis.

Keterangan:

$\rho_{BOA}(\text{Inframerah Dekat})$ = Nilai reflektan dibawah lapisan atmosfer untuk kanal Inframerah Dekat

$\rho_{BOA}(\text{Merah})$ = Nilai reflektan dibawah lapisan atmosfer untuk kanal Merah

d. Land Surface Emissivity (LSE)

Perhitungan *Land Surface Emissivity* (LSE) dilakukan untuk mendapatkan nilai emisivitas permukaan tanah (ϵ) yang akan dibutuhkan dalam perhitungan *Land Surface Temperature* (LST). Pengambilan data emisivitas permukaan tanah dilakukan dengan memanfaatkan *NDVI Threshold Method* ($NDVI^{THM}$). NDVI yang memiliki nilai kurang dari 0,2 ($NDVI_s$) dianggap tanah dan bangunan sehingga memiliki nilai LSE sama dengan 0,96 ($\epsilon_{s\lambda} = 0,96$). Sementara nilai NDVI yang melebihi 0,5 ($NDVI_v$) maka dianggap sebagai vegetasi penuh sehingga memiliki nilai LSE 0,99 ($\epsilon_{v\lambda} = 0,99$). Nilai NDVI yang berada di antara 0,2 – 0,5 (campuran vegetasi dan tanah atau bangunan) akan memiliki nilai seperti pada persamaan di bawah ini [15].

$$\epsilon = \epsilon_{v\lambda} P \epsilon_{s\lambda} (1 - P_{v\lambda} (1 - P_v)) + C_\lambda \quad (2)$$

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v + NDVI_s} \right)^2 \quad (3)$$

$$C_\lambda = (1 - \epsilon_{s\lambda}) F (1 - P_v) \quad (4)$$

Keterangan:

ϵ = emisivitas permukaan tanah

- $\epsilon_{v\lambda}$ = emisivitas vegetasi (0,99)
- $\epsilon_{s\lambda}$ = emisivitas tanah/soil (0,96)
- P_v = proporsi vegetasi
- C_λ = *Cavity Effect*
- F' = Faktor geometri (0,55)

4) *Pengolahan Citra Level 1*

a. Kalibrasi Radiometrik

Kalibrasi radiometrik dilakukan pada kanal Inframerah Termal untuk mengubah DN ke TOA *Radiance* dengan persamaan (5), kemudian dari TOA *Radiance* diubah ke *Brightness Temperature* dengan menggunakan persamaan (6).

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \tag{5}$$

Keterangan:

- L_λ = TOA *spectral radiance*(Watts/($m^2 \cdot srad \cdot \mu m$))
- M_L = *Band specific multiplicative rescaling factor* (*RADIANCE_MULT_BAND_x*, where *x* is the bandnumber)
- A_L = *Band specific addiitive rescaling factor* (*RADIANCE_ADD_BAND_x*, where *x* is theband number)
- Q_{cal} = Nilai *Digital Number* (DN) kanal yang dituju

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \tag{6}$$

Keterangan:

- T = *At-satellite brightness temperature* (K)
- L_λ = *TOA Spectral radiance* (Watts/($m^2 \cdot srad \cdot \mu m$))
- K_1 = *Band-specific thermal conversion constant from the metadata*(*K1_CONSTANT_BAND_x*, where *x* is the band number, 10 or 11)
- K_2 = *Band-specific thermal conversion constant from the metadata*(*K2_CONSTANT_BAND_x*, where *x* is the band number, 10 or 11)

Hasil dari perhitungan *Brightness Temperature* memiliki satuan Kelvin.

b. Land Surface Temperature (LST)

LST atau suhu permukaan tanah dapat didefinisikan sebagai suatu temperatur rata-rata dari suatu permukaan, yang digambarkan dalam cakupan suatu piksel dengan berbagai tipe permukaan yang berbeda [16]. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam menghitung LST adalah metode *Single-Channel Algorithm* (SCA) [17]:

$$LST = \gamma \left[\frac{1}{\epsilon} (\psi_1 L_\lambda + \psi_2) + \psi_3 \right] + \delta \tag{7}$$

$$\gamma = \frac{c_2 L_\lambda}{T^2} \left[\frac{\lambda^4 L_\lambda}{c_1} + \frac{1}{\lambda} \right]^{-1} \tag{8}$$

$$\delta = -\gamma L_\lambda + T \tag{9}$$

Keterangan:

- LST = Suhu Permukaan Tanah (K)
- ϵ = Nilai emisivitas permukaan tanah
- T = *At-Satellite brightness temperature* (K)
- L_λ = *TOA spectral radiance* (Watts/($m^2 \cdot srad \cdot \mu m$))
- λ = panjang gelombang efektif untuk citra Landsat 8 TIRS kanal 10 (10,895 μm)
- c_1 = konstanta radiasi Planck (1,19104 $\times 10^8$ W. $\mu m^4 \cdot m^2 \cdot sr^{-1}$)
- c_2 = konstanta radiasi Planck (1,43877 $\times 10^4$ $\mu m \cdot K$)

γ dan δ adalah parameter yang bergantung pada fungsi Planck, dan Ψ_1 , Ψ_2 , dan Ψ_3 adalah fungsi koreksi atmosfer yang diperoleh dengan formula [18]:

$$\psi_1 = \frac{1}{\tau} \tag{10}$$

$$\psi_2 = -L^\downarrow - \frac{L^\uparrow}{\tau} \tag{11}$$

$$\psi_3 = L^\downarrow \tag{12}$$

Dimana τ adalah *band average atmospheric transmission*, L^\uparrow adalah *effective bandpass upwelling radiance* atau cahaya yang dipancarkan dan L^\downarrow adalah *effective bandpass downwelling radiance* atau cahaya yang meredup. Untuk mendapatkan parameter koreksi atmosfer tersebut menggunakan *tools* berbasis *web* yaitu *Atmospheric Correction Parameter Calculator* (ACPC) yang dapat diakses pada laman <http://atmcorr.gsfc.nasa.gov> [19].

5) Uji Korelasi LST Citra dengan Suhu Lapangan

Suhu hasil pengolahan LST diuji korelasinya dengan suhu lapangan yang diperoleh dari data stasiun cuaca BMKG, hal ini bertujuan untuk memvalidasi hasil pengolahan Suhu Permukaan Tanah dari citra. Berikut persamaan untuk menghitung uji korelasi *Pearson Product Moment*.

$$R_{xy} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \tag{13}$$

Keterangan:

- n = jumlah variabel
- x = nilai variabel X
- y = nilai variabel Y

Nilai kekuatan korelasi dapat dilihat pada Tabel 2.

6) Pembuatan Peta Distribusi UHI

Untuk mendapatkan nilai ambang batas UHI, dilakukan perhitungan menggunakan persamaan (14) dan (15) dengan memasukkan hasil perhitungan LST. Hasil perhitungan ambang

batas UHI berupa nilai suhu dalam satuan *celcius* yang menjadi ambang batas terjadinya fenomena UHI.

$$T > \mu + 0,5 \alpha \quad (14)$$

$$0 < T \leq \mu + 0,5 \alpha \quad (15)$$

Keterangan:

T = Suhu permukaan (LST)

μ = Nilai rata-rata suhu permukaan

α = Standar deviasi suhu permukaan

Kemudian untuk membuat peta distribusi UHI-nya digunakan persamaan (16) [20].

$$UHI = T_{mean} - (\mu + 0,5 \alpha) \quad (16)$$

Keterangan:

UHI = *Urban Heat Island*

Tmean = *Land Surface Temperature* (°C)

μ = Nilai rerata LST (°C)

α = Nilai standar deviasi LST (°C)

Hasilnya nilai selisih suhu yang positif mengindikasikan bahwa daerah tersebut terjadi UHI, jika bernilai negatif maka daerah tersebut tidak terjadi fenomena UHI.

Pembuatan peta distribusi UHI juga dilakukan dengan menggunakan *Hot Spot Analysis* (Getis-Ord G_i^*) yaitu suatu *tools* analisis spasial statistik untuk mengidentifikasi titik panas (*hot spot*) dan titik dingin (*cold spot*) yang signifikan secara statistik menggunakan statistik Getis-Ord G_i^* . Input data yang dibutuhkan adalah titik-titik yang menyebar di seluruh studi area dengan nilai LST di dalamnya, kemudian akan dihasilkan *output* berupa *z-score*, *p-value*, dan tingkat kepercayaan bin (G_i_Bin) untuk setiap fitur di kelas fitur input.

7) Validasi Lapangan

Setelah diperoleh peta distribusi UHI, dilakukan validasi lapangan dengan mengambil sampel di beberapa titik di Kota Surabaya untuk diambil data koordinat, jenis tutupan lahan, dan kondisi Ruang Terbuka Hijau (RTH).

8) Analisis Data

Pada penelitian ini terdapat 3 analisis yang dilakukan, yaitu: (1) Analisis peta LST metode SCA, (2) Analisis korelasi LST citra dengan suhu lapangan, (3) Analisis peta distribusi UHI metode Ambang Batas dan *Hot Spot Analysis* (Getis-Ord G_i^*) untuk mengetahui perubahan distribusi fenomena UHI di Kota Surabaya pada tahun 2002, 2014 dan 2019, serta menganalisis metode mana yang lebih baik diantara keduanya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil dan Analisis Land Surface Temperature (LST)

Dari perhitungan *Land Surface Temperature* (LST) dengan metode *Single Channel Algorithm* (SCA), dihasilkan peta distribusi Suhu Permukaan Tanah di Kota Surabaya dapat dilihat pada Gambar 2. Pada Tabel 3 dapat dilihat statistik dari masing-masing Peta Suhu Permukaan Tanah:

Perubahan Suhu Permukaan Tanah jika ditinjau secara spasial menunjukkan bahwa ketiga citra memiliki pola yang sama, yaitu suhu rendah di pinggiran kota, dan semakin ke tengah atau pusat kota maka suhu semakin tinggi. Hal ini dikarenakan pola tutupan lahan di Kota Surabaya seperti pada Gambar 4, dimana Surabaya

bagian utara hingga selatan tutupan lahannya mayoritas berupa lahan terbangun, sedangkan di Surabaya bagian timur dan barat berupa vegetasi dan perairan. Kemudian secara temporal, perubahan luasan kelas suhu dari tahun 2002, 2014, dan 2019 dapat dilihat pada Gambar 3.

Dari gambar 4, luas area dengan suhu $\leq 20^\circ\text{C}$ mengalami kenaikan dari tahun 2002 ke 2014, dan turun dari tahun 2014 ke 2019. Luas area dengan suhu $20-24^\circ\text{C}$ selalu mengalami kenaikan dari tahun 2002, 2014, dan 2019. Luas area dengan suhu $24-28^\circ\text{C}$ mengalami kenaikan dari tahun 2002 ke 2014, dan turun dari tahun 2014 ke 2019. Luas area dengan suhu $28-32^\circ\text{C}$ turun dari tahun 2002 ke 2014, kemudian naik lagi dari 2014 ke 2019. Terakhir, area dengan suhu $>32^\circ\text{C}$ hanya terdapat pada citra tahun 2002. Dapat disimpulkan bahwa suhu maksimum pada tahun 2002 paling tinggi, kemudian suhu maksimum tahun 2014 dengan 2019 tidak jauh berbeda. Hal ini dapat terjadi karena dipengaruhi oleh adanya fenomena El-Nino (tahun kering) yang terjadi di Pulau Jawa pada tahun 2002. Fenomena ini memiliki siklus setiap 5 tahun sekali dengan rata-rata kejadian kekeringan tingkat tinggi selama 5 bulan dalam setahun, kejadian ini sebelumnya telah terjadi pada tahun 1991 dan 1997 [21].

B. Uji Korelasi LST Citra dengan Suhu Lapangan

Pada table 4 perhitungan uji korelasi dengan metode uji korelasi *Pearson Product Moment*. Setelah didapatkan suhu hasil pengolahan LST, dilakukan uji korelasi dengan suhu lapangan yang diperoleh dari data stasiun cuaca BMKG yaitu Stasiun Meteorologi Juanda, Stasiun Meteorologi Perak I, dan Stasiun Meteorologi Maritim Perak II. Dari tabel 3, koefisien korelasi menunjukkan korelasi positif dengan nilai R_{xy} sebesar 0,449. Sehingga hubungan yang dimiliki kedua variabel berbanding lurus, menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu lapangan maka semakin tinggi pula suhu LST. Untuk kekuatan korelasinya diketahui bahwa nilai 0,449 menunjukkan korelasi cukup.

C. Hasil Pengolahan Tutupan Lahan

Tutupan lahan dihasilkan dari Klasifikasi Citra menggunakan metode Klasifikasi Terbimbing *Maximum Likelihood*. Didapatkan peta tutupan lahan Kota Surabaya dengan kelas tutupan lahan vegetasi, lahan terbangun, dan perairan pada citra tahun 2002, 2014, dan 2019 yang diolah dapat dilihat pada Gambar 4.

Diperoleh nilai akurasi keseluruhan (*Overall Accuracy*) untuk hasil pengolahan klasifikasi tutupan lahan yaitu 88,50% dan *Kappa Accuracy* sebesar 79,42% atau 0,7942. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengolahan tersebut sudah memenuhi kriteria yang ditetapkan yaitu *Overall Accuracy* $\geq 80\%$. Dilihat dari nilai *Kappa Accuracy*, akurasi yang dihasilkan tergolong sedang.

D. Hasil dan Analisis Distribusi Urban Heat Island (UHI)

1) Metode Ambang Batas

Pada peta distribusi *Urban Heat Island* (UHI) metode ambang batas, daerah yang tidak terdampak UHI ditunjukkan dengan nilai nol sampai negatif (≤ 0). Sedangkan daerah yang terdampak UHI memiliki nilai positif (> 0). Daerah yang terdampak UHI diklasifikasikan lagi berdasarkan besar nilai UHI-nya menjadi tiga kelas yaitu kelas UHI 1 (rentang UHI $0-2^\circ\text{C}$), kelas UHI 2

(rentang UHI 2-4°C), dan kelas UHI 3 (rentang UHI diatas 4°C). Semakin besar nilai UHI, maka semakin ia terdampak UHI. Berikut nilai ambang batas UHI dan nilai UHI maksimum dari masing-masing peta.

Dari hasil distribusi UHI metode Ambang Batas, luas kelas UHI 1, 2 dan 3 dijumlah sehingga didapatkan luas total area yang terdampak UHI, dapat dilihat pada Tabel 5. Pada Gambar 5 peta distribusi *Urban Heat Island* (UHI) metode Ambang Batas:

2) Metode Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi*)

Pada Gambar 6 hasil peta distribusi *Urban Heat Island* (UHI) di Kota Surabaya Tahun 2002, 2014, dan 2019 dengan metode *Hot Spot Analysis* (Getis-Ord Gi*): Dari hasil distribusi UHI metode *Hot Spot Analysis*, luas kelas *Hot Spot* dijumlah sehingga didapatkan luas total area yang terdampak UHI. Sedangkan luas area yang tidak terdampak UHI merupakan jumlah dari luas kelas *Cold Spot* dan *Not Significant*.

3) Analisis Perubahan Distribusi UHI

Dari peta distribusi UHI menggunakan kedua metode, sama dengan pola suhu tinggi pada hasil LST, area yang terdampak UHI cenderung berada di tengah atau pusat Kota Surabaya, memanjang dari Surabaya bagian utara hingga selatan, sedangkan area yang tidak terdampak UHI berada di wilayah pesisir dan pinggiran Kota Surabaya yaitu Surabaya bagian barat dan timur. Hal ini dipengaruhi oleh tutupan lahan seperti yang ditunjukkan pada gambar 5. Perubahan luasan UHI dari tahun 2002, 2014, dan 2019 dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 7.

Dari hasil peta distribusi UHI metode ambang batas, luas area terdampak UHI dari tahun 2002 ke 2014 menurun sebesar 0,231% atau sebesar 0,760 km². Kemudian dari tahun 2014 ke 2019 menurun lagi sebesar 2,434% atau sebesar 7,995 km². Sedangkan dari hasil peta distribusi UHI metode *Hot Spot Analysis*, luas area yang terdampak UHI juga mengalami penurunan dari tahun 2002 ke 2014 sebesar 0,617% atau sebesar 2,027 km². Kemudian dari tahun 2014 ke 2019 menurun lagi sebesar 9,490% atau sebesar 31,168 km². Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti nilai standar deviasi LST yang selalu menurun dari tahun 2002, 2014, dan 2019 yang menunjukkan variasi nilai suhu semakin kecil, serta kebijakan Pemkot Surabaya yang selalu berupaya menambah RTH di Surabaya sehingga dapat membantu mengurangi UHI.

4) Hasil Validasi Lapangan Peta UHI

Validasi Lapangan dilakukan dengan menggunakan fitur *Google Earth Historical Imagery* dan *Street View* pada Software *Google Earth Pro* untuk mengetahui jenis tutupan lahan dan kondisi ruang terbuka hijau dari total 200 titik sampel yang tersebar di Kota Surabaya. Rangkuman dari hasil validasi lapangan peta UHI disajikan dalam tabel 7.

Dari tabel 7, dapat dilihat bahwa area yang terdampak UHI memiliki tutupan lahan berupa pemukiman padat, bangunan industri, dan lahan terbuka dengan sedikit atau tanpa vegetasi. Sedangkan area yang tidak terdampak UHI memiliki tutupan lahan berupa tambak, sawah, danau, dan lahan terbuka dengan banyak vegetasi.

5) Perbandingan Kedua Metode

Dari analisis UHI yang telah dilakukan menggunakan metode Ambang Batas dan *Hot Spot Analysis*, dapat disimpulkan bahwa jika ditinjau dari efisiensi, metode Ambang Batas lebih baik untuk

digunakan dalam pembuatan Peta Distribusi UHI Kota Surabaya. Sedangkan jika ingin mendapatkan hasil yang lebih detail dapat menggunakan *Hot Spot Analysis*. Hal ini dikarenakan adanya beberapa perbedaan yang ditemukan dari kedua metode sebagai berikut: (a) Untuk metode ambang batas, memiliki kelebihan yaitu dapat mengetahui daerah mana yang terdampak UHI beserta nilai besaran UHI-nya dalam satuan celcius (°C), sehingga dapat lebih mudah diinterpretasi seberapa besar nilai UHI-nya. Proses pengolahannya juga lebih mudah karena *input*-nya berupa raster. Kelas yang terbentuk dari peta hasil *output*-nya lebih sederhana dan fleksibel; (b) Sedangkan metode *Hot Spot Analysis* (Getis-Ord Gi*) dapat mengetahui titik panas dan titik dingin yang signifikan secara statistik. *Output* nilai UHI berasal dari perhitungan statistik Gi berupa *z-score* (standar deviasi), *p-value* (probabilitas), dan tingkat kepercayaan (Gi_Bin). Kelas yang terbentuk secara *default* menampilkan kelas *non-significant*, *cold spot* dan *hot spot* disertai tingkat kepercayaannya. Proses pengolahannya lebih panjang karena *input*-nya berupa vektor, sedangkan hasil *Land Surface Temperature* (LST) berupa raster sehingga perlu diubah terlebih dahulu. Selain itu metode *Hot Spot Analysis* (Getis-Ord Gi*) lebih cocok untuk mengetahui banyaknya suatu kejadian (*events*) misalnya untuk tujuan *crime analysis*; (c) Perbedaan luasan yang dihasilkan dari kedua metode dapat disebabkan karena perbedaan cara penentuan daerah UHI dari masing-masing metode.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Perhitungan *Land Surface Temperature* (LST) menggunakan metode *Single Channel Algorithm* berhasil dilakukan dengan nilai suhu permukaan rata-rata Kota Surabaya pada 19 Mei 2002 sebesar 29,094°C, pada 29 Juni 2014 sebesar 26,889°C, dan pada 11 Juni 2019 sebesar 27,130°C. Hasil uji korelasi antara *Land Surface Temperature* (LST) hasil pengolahan citra dengan suhu lapangan yang diperoleh dari stasiun cuaca BMKG menunjukkan bahwa nilai koefisien korelasi (R_{xy}) sebesar 0,449; yang artinya memiliki korelasi cukup. Dari peta distribusi *Urban Heat Island* (UHI) metode Ambang Batas, luas area yang terdampak UHI selalu mengalami penurunan dari tahun 2002, 2014, dan 2019 dengan luas penurunan masing-masing sebesar 0,760 km² dan 7,995 km². Sedangkan dari peta distribusi *Urban Heat Island* (UHI) Kota Surabaya metode *Hot Spot Analysis* (Getis-Ord Gi*), luas area yang terdampak UHI juga selalu mengalami penurunan dari tahun 2002, 2014, dan 2019 dengan luas penurunan masing-masing sebesar 2,027 km² dan 31,168 km². Dari hasil kedua metode tersebut, area yang terdampak UHI cenderung berada di tengah atau pusat Kota Surabaya.

B. Saran

Perlu adanya data suhu lapangan yang lebih banyak dan tersebar secara merata untuk validasi *Land Surface Temperature* (LST), mengingat terbatasnya stasiun cuaca yang ada di Kota Surabaya. Selanjutnya untuk penerapan metode *Hot Spot Analysis* (Getis-Ord Gi*) pada data raster yang lebih baik, dapat menggunakan *tool "Find Hot Spots"* pada software ENVI. karena *tool* ini dapat memproses *Hot Spot Analysis* (Getis-Ord Gi*) pada data raster

secara langsung tanpa perlu mengubah ke vektor terlebih dahulu. Namun *tool* ini memerlukan instalasi dan lisensi tersendiri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Juanda selaku penyedia data cuaca.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. P. J. Timur, "Jumlah Penduduk dan Laju Pertumbuhan Penduduk Menurut Kabupaten/Kota di Provinsi Jawa Timur, 2010, 2016 dan 2017," 2018. .
- [2] L. Tursllowati, "Pulau panas perkotaan akibat perubahan tata guna dan penutup lahan di bandung dan bogor," *J. Sains Dirgant.*, vol. 3, no. 1, pp. 43–64, 2005.
- [3] J. A. Voogt and T. R. Oke, "Thermal remote sensing of urban climates," *Remote Sens. Environ.*, vol. 86, no. 3, pp. 370–384, 2003, doi: 10.1016/S0034-4257(03)00079-8.
- [4] L. Howard, *The climate of London: Deduced from Meteorological Observations Made in the Metropolis and at Various Places Around it*. London: Harvey and Darton, 1833.
- [5] M. K. Firozjaei, S. Fatholouloumi, M. Kiavarz, J. J. Arsanjani, and S. K. Alavipanah, "Modelling surface heat island intensity according to differences of biophysical characteristics: a case study of amol city, iran," *Ecol. Indic.*, vol. 109, no. October 2019, p. 105816, 2020, doi: 10.1016/j.ecolind.2019.105816.
- [6] R. Watts, *Engineering Response to Climate Change*, 2nd ed. CRC Press, 20134.
- [7] Q. Weng, M. K. Firozjaei, A. Sedighi, M. Kiavarz, and S. K. Alavipanah, "statistical analysis of surface urban heat island intensity variations: a case study of babol city, iran," *GIScience Remote Sens.*, vol. 56, no. 4, pp. 576–604, May 2019, doi: 10.1080/15481603.2018.1548080.
- [8] M. K. Firozjaei, M. Kiavarz, S. K. Alavipanah, T. Lakes, and S. Qureshi, "monitoring and forecasting heat island intensity through multi-temporal image analysis and cellular automata-markov chain modelling: a case of babol city, iran," *Ecol. Indic.*, vol. 91, no. January, pp. 155–170, 2018, doi: 10.1016/j.ecolind.2018.03.052.
- [9] L. Rocchio, "Landsat data continuity mission," *Landsat Its Valuab. Role Satell. Imag. Earth*, pp. 113–118, 2012.
- [10] N. I. Fawzi, "Mengukur urban heat island menggunakan penginderaan jauh, kasus di kota yogyakarta," *Maj. Ilm. Globe*, vol. 19, no. 2, p. 195, 2017, doi: 10.24895/mig.2017.19-2.603.
- [11] H. Muzaky and L. M. Jaelani, "Analisis pengaruh tutupan lahan terhadap distribusi suhu permukaan : kajian urban heat island (uhi) di lima," *J. Penginderaan Jauh Indones.*, vol. 01, no. 02, pp. 45–51, 2019.
- [12] S. . Purwadhi, *Interpretasi Citra Digital*. Jakarta: Grasindo, 2001.
- [13] F. P. Utami, Y. Prasetyo, and A. Sukmono, "Analisis spasial perubahan luasan mangrove akibat pengaruh limpasan sedimentasi tersuspensi dengan metode penginderaan jauh (studi kasus : segara anakan kabupaten cilacap, jawa tengah)," *J. Geod. Undip*, vol. 5, no. 1, pp. 305–315, 2016.
- [14] R. C. Estoque, Y. Murayama, and S. W. Myint, "Effects of landscape composition and ppter on land surface temperature: an urban heat island study in the megacities of southeast asia," *Sci. Total Environ.*, vol. 577, pp. 349–359, 2017, doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.195.
- [15] J. A. Sobrino *et al.*, "Land surface emissivity retrieval from different vnr and tir sensors," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 46, no. 2, pp. 316–327, 2008, doi: 10.1109/TGRS.2007.904834.
- [16] H. Dasuka, Y.P, Sasmito, B., "Analisis hubungan variasi land surface temperature dengan kelas tutupan lahan menggunakan data citra satelit landsat (studi kasus: kabupaten pati)," *J. Geod. Undip J. Geod. Undip*, vol. 3, no. April, pp. 28–43, 2014.
- [17] J. Jimenez-Munoz, J. Cristobal, J. Sobrino, G. Soria, M. Ninyerola, and X. Pons, "Revision of the single- channel algorithm for land surface temperature retrieval from landsat thermal-infrared data," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 47, pp. 339–349, 2009.
- [18] J. C. Jiménez-Muñoz and J. A. Sobrino, "A single-channel algorithm for land-surface temperature retrieval from aster data," *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 7, no. 1, pp. 176–179, 2010, doi: 10.1109/LGRS.2009.2029534.
- [19] J. A. Barsi, J. L. Barker, and J. R. Schott, "An atmospheric correction parameter calculator for a single thermal band earth-sensing instrument," *Int. Geosci. Remote Sens. Symp.*, vol. 5, no. C, pp. 3014–3016, 2003, doi: 10.1109/igarss.2003.1294665.
- [20] R. H. Jatmiko and B. Hartono, "Penggunaan citra saluran inframerah termal untuk studi perubahan liputan lahan dan suhu sebagai indikator perubahan iklim perkotaan di yogyakarta," Universitas Gadjah Mada, 2015.
- [21] W. Rahman, "Analisis pengaruh perubahan penutup lahan terhadap sebaran suhu permukaan di kota batu pada tahun 2002 dan 2017," Universitas Muhammadiyah, Surakarta, 2018.