

ANALISIS *SURFACE URBAN HEAT ISLAND* MENGGUNAKAN DATA SENTINEL-3 SLSTR (STUDI KASUS: KOTA SEMARANG)

Wening Aisyah Fauziana Koman^{*)}, L. M. Sabri, Firman Hadi

Laboratorium Fotogrametri dan Penginderaan Jauh
Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email: weningaisyah@student.undip.ac.id^{*)}

ABSTRAK

Tahun 2025 diprediksi 68% populasi akan tinggal di Kawasan perkotaan, tak hanya di kota utama seperti Kota Jakarta, namun merambah di kota lapis kedua seperti Kota Semarang. Peningkatan aktivitas pembangunan menyebabkan peningkatan suhu permukaan di perkotaan yang dapat membentuk fenomena *Surface Urban Heat Island* (SUHI). Tujuan penelitian ini adalah memperoleh peta SUHI Kota Semarang tahun 2020 pada data pagi dan malam hari berdasarkan tiga metode identifikasi SUHI untuk mengetahui metode identifikasi SUHI terbaik. Karakteristik SUHI ditentukan oleh nilai suhu permukaan atau *Land Surface Temperature* (LST), data area urban, dan metode identifikasinya. Data LST diperoleh dari Sentinel-3 SLSTR dengan metode *Split Window Algorithm*. Data LST dengan RMSE terbaik adalah Sentinel-3 SLSTR Level 2 terhadap *true value* LST Landsat 8, dengan nilai RMSE berturut-turut 1,76 °C dan 2,23 °C untuk Sentinel-3 SLSTR Level 2 dan Level 1. Penentuan area urban dan sekitarnya menggunakan *Boundaries Buffer Concept*. Data urban diperoleh dari Peta Tutupan Lahan *Climate Change Initiative* (CCI), selain itu juga menggunakan hasil ekstraksi data SAR Sentinel-1B. Resolusi spasial area urban terbaik adalah hasil ekstraksi SAR Sentinel-1B yang mencapai 14 meter dan memiliki kemiripan dengan Peta Tutupan Lahan CCI. Identifikasi SUHI menggunakan tiga metode berdasarkan Fawzi (2017), *Urban Thermal Field Variance Index* (UTFVI), dan Khomarudin (2004) yang akan dilakukan pada data pagi dan malam. Luas data urban mempengaruhi hasil *buffer* dan area sekitarnya yang mempengaruhi perhitungan ambang batas pada tiap metode identifikasi SUHI. Metode terbaik untuk menganalisis SUHI adalah metode UTFVI karena memiliki hasil yang konsisten baik data pagi maupun malam harinya terhadap metode lain, dapat mengklasifikasikan hasil intensitas SUHI, serta memiliki proses pengolahan yang lebih sederhana.

Kata Kunci: *Boundaries Buffer Concept*, Sentinel-3 SLSTR, SUHI, UTFVI

ABSTRACT

In 2025, it is predicted that 68% of the population will live in urban areas, which does not only happen in main cities such as Jakarta City, but also in secondary cities such as Semarang City. The increase in development activities causes an increase in surface temperature which can form the *Surface Urban Heat Island* (SUHI) phenomenon. The purpose of this study was to obtain a SUHI map of Semarang City in 2020 at daytime and nighttime data based on three SUHI identification methods to find out the best method of SUHI identification. SUHI characteristics are determined by the value of *Land Surface Temperature* (LST), urban area data, and the SUHI identification method. LST data were obtained from Sentinel-3 SLSTR with the *Split Window Algorithm* method. LST data with the best RMSE is Sentinel-3 SLSTR Level 2 against the true value of LST Landsat 8, with RMSE values of 1.76 °C and 2.23 °C respectively for Sentinel-3 SLSTR Level 2 and Level 1. Determination of urban area and their surrounding using *Boundaries Buffer Concept*. Urban data is obtained from the *Climate Change Initiative* (CCI) Land Cover Map, also using the results of the Sentinel-1B SAR data extraction. The best spatial resolution of urban areas is the results of the Sentinel-1B SAR data extraction that reaches 14 meters and has similarities with the CCI Land Cover Map. SUHI identification uses three methods based on Fawzi (2017), *Urban Thermal Field Variance Index* (UTFVI), and Khomarudin (2004) which will be carried out on daytime and nighttime data. The area of urban data affects the buffer results which affects the calculation of the threshold for each method of SUHI identification. The best method for identifying SUHI is UTFVI because it has a good consistency results in daytime and nighttime data against other methods, can classify the SUHI intensity, and it has the simplest process.

Keywords : *Boundaries Buffer Concept*, Sentinel-3 SLSTR, SUHI, UTFVI

^{*)} Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Menurut Lewis (2014) dalam World Bank (2014) pada dokumen “*Development Policy Review 2014*”, populasi perkotaan di Indonesia meningkat sebesar 4% per tahun yang menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara dengan urbanisasi cepat di dunia, bahkan pada tahun 2025 diprediksi sebesar 68% populasi akan tinggal di kawasan perkotaan. Urbanisasi merupakan proses perubahan suatu wilayah menjadi perkotaan yang sangat kompleks, salah satunya meliputi faktor ekonomi (Firman, dkk., 2007 dalam Katherina, L. K., 2014). Fenomena urbanisasi tak hanya terjadi di kota utama suatu negara seperti Kota Jakarta, namun sudah merambah di kota lapis kedua (*secondary cities*), salah satunya Kota Semarang (Katherina, L. K., 2014). Kota lapis kedua yang dimaksud pada (Katherina, L. K., 2014) adalah kota dengan jumlah penduduk antara 150 ribu sampai 5 juta jiwa.

Kota Semarang merupakan ibukota Provinsi Jawa Tengah yang memiliki banyak industri. Perkembangan industri ini mengakibatkan terjadinya peningkatan kebutuhan tenaga kerja sehingga mendorong peningkatan jumlah penduduk yang menyebabkan urbanisasi. Berdasarkan data sensus penduduk BPS Kota Semarang (2020), Kota Semarang memiliki peningkatan jumlah penduduk sebesar 3,17% dari tahun 2016 sampai 2020. Urbanisasi yang terjadi akan mendorong peningkatan aktivitas pembangunan di wilayah perkotaan. Adanya kebutuhan tempat tinggal dan fasilitas umum akibat tingginya populasi yang tidak diiringi dengan peningkatan luas lahan akan menyebabkan konversi lahan vegetasi menjadi lahan terbangun. Hal itu dapat menyebabkan terjadinya peningkatan suhu permukaan di kawasan perkotaan yang signifikan daripada daerah sekitarnya sehingga dapat membentuk fenomena *Urban Heat Island*.

Urban Heat Island (UHI) merupakan fenomena perubahan dan perbedaan suhu yang terjadi di perkotaan dan daerah sekitarnya. Analisis *Urban Heat Island* dapat dilakukan menggunakan data *Land Surface Temperature* (LST) atau suhu permukaan sehingga disebut dengan *Surface Urban Heat Island* (SUHI) (Fawzi dan Jatmiko, 2018). Zhou, dkk (2018) pada ulasannya berjudul “*Satellite Remote Sensing of Surface Urban Heat Islands: Progress, Challenges, and Perspectives*”, data satelit yang banyak digunakan untuk analisis SUHI yaitu Landsat *Series* (Landsat 1 sampai 8) 53% dan Terra/Aqua MODIS 25% dari seluruh publikasi jurnal dan artikel ilmiah sejak 1972 hingga Agustus 2018. Pada ulasan yang sama, Zhou, dkk (2018) mengatakan bahwa penelitian SUHI berdasarkan variasi waktu terdapat 63% publikasi menggunakan waktu tunggal pagi atau siang hari saja (*daytime*), padahal penting untuk menganalisis SUHI dengan beberapa seri waktu seperti siang dan malam hari, karena pada kenyataannya nilai LST akan berubah terhadap waktu yang diakibatkan oleh perubahan cuaca, iklim, aktivitas vegetasi dan aktivitas manusia.

Selain data satelit Landsat dan Terra/Aqua MODIS, data yang dapat digunakan untuk analisis SUHI adalah Sentinel-3 instrumen *Sea and Land Surface Temperature Radiometer* (SLSTR) yang memiliki sensor termal sehingga dapat menyediakan data LST baik pagi maupun malam hari (*daytime* dan *nighttime*). Selain itu, resolusi temporal Sentinel-3 cukup tinggi yaitu kurang dari 2 hari. Sebagai satelit yang baru diluncurkan pada tahun 2016, Sentinel-3 belum banyak digunakan oleh para peneliti dan berpotensi untuk melakukan analisis SUHI dengan baik.

Pada penelitian SUHI, penentuan daerah urban dan peri-urban merupakan hal yang cukup sulit dilakukan, karena dengan perbedaan penentuan tersebut juga akan berpengaruh pada hasil daerah yang terdampak maupun tidak terdampak SUHI. Penelitian ini akan menggunakan dua data yaitu data Peta Tutupan Lahan CCI (*Climate Change Initiative*) dan data urban hasil ekstraksi pengolahan SAR (*Synthetic Aperture Radar*) Sentinel-1B sebagai penentuan daerah urban, serta menggunakan metode *Boundaries Buffer Concept* untuk menentukan daerah peri-urban. Sebagai upaya untuk mempermudah analisis SUHI, peta SUHI yang merepresentasikan daerah terdampak maupun tidak terdampak SUHI diperlukan sehingga dapat dilihat persebarannya secara spasial. Terdapat beberapa metode untuk memetakan fenomena SUHI, namun tidak ada standar yang digunakan oleh para peneliti sebelumnya. Pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan beberapa metode dalam mengidentifikasi daerah terdampak dan tidak terdampak SUHI sehingga dapat dipetakan dan dilihat persebarannya secara spasial.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana analisis hasil uji akurasi data LST pada Sentinel-3 SLSTR Level 1 dan Level 2 terhadap data LST Landsat 8?
2. Bagaimana analisis luas area urban dari hasil ekstraksi SAR Sentinel-1B di Kota Semarang pada tahun 2020 serta perbandingannya dengan Peta Tutupan Lahan CCI?
3. Bagaimana analisis hasil peta SUHI Kota Semarang tahun 2020 pada data pagi dan malam hari berdasarkan tiga metode identifikasi SUHI?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Memperoleh akurasi data LST pada Sentinel-3 SLSTR Level 1 dan Level 2 terhadap data LST Landsat 8.
2. Memperoleh luas area urban dari hasil ekstraksi SAR Sentinel-1B di Kota Semarang pada tahun 2020 serta perbandingannya dengan Peta Tutupan Lahan CCI.
3. Memperoleh peta SUHI Kota Semarang tahun 2020 pada data pagi dan malam hari berdasarkan tiga metode identifikasi SUHI.

I.4 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan masalah sebagai berikut:

1. Batas administrasi Kota Semarang hanya digunakan sebagai batasan area urban dan batasan daerah analisis hasil peta SUHI.
2. Data LST diambil dari Sentinel-3 SLSTR Level 1 dan Level 2. Metode ekstraksi LST yang digunakan adalah *Split Window Algorithm* dari saluran termal S8 dan S9.
3. Uji akurasi data LST menggunakan Landsat 8 OLI/TIRS Level 1 yang dianggap sebagai nilai LST referensi. Metode ekstraksi LST yang digunakan adalah *Split Window Algorithm* dari saluran termal B10 dan B11. Uji akurasi dilakukan pada data pagi hari tanggal 27 Juni 2020 yang mencakup kedua akuisisi citra.
4. Jumlah titik sampel untuk uji akurasi data LST ditentukan menggunakan rumus Slovin, pemilihan titik sampel menggunakan metode *Simple Random Sampling*, dan daerah pemilihan titik sampel berada di Kota Semarang, Kabupaten Demak, Kabupaten Kendal, Kabupaten Semarang dan Kota Salatiga.
5. Penentuan daerah urban dan sekitarnya berdasarkan metode *Boundaries Buffer Concept* (Sobrino dan Irakulis, 2020) menggunakan dua data urban dengan batasan administrasi di wilayah Kota Semarang.
 - a. Peta Tutupan Lahan *Climate Change Initiative* (CCI)
 - b. Data urban hasil ekstraksi dari citra SAR Sentinel-1B Level 1 SLC
6. Analisis SUHI dilakukan pada satu waktu pagi hari dan satu waktu malam hari yang berurutan.
7. Identifikasi SUHI mengacu pada tiga metode berikut:
 - a. Metode Fawzi (2017)
 - b. Metode *Urban Thermal Field Variance Index* (UTFVI)
 - c. Metode Khomarudin (2004)
8. Analisis SUHI pada penelitian ini tidak menggunakan nilai suhu permukaan laut.

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Penginderaan Jauh Sistem Termal

Penginderaan jauh adalah ilmu dan seni yang digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai objek, luasan, atau fenomena tertentu melalui sensor yang tidak berhubungan langsung dengan objek yang menjadi targetnya (Lillesand, dkk., 2004). Komponen utama yang ada dalam sistem penginderaan jauh ada empat, yaitu target (objek yang akan direkam di permukaan bumi), energi, transmisi, dan sensor. Komponen energi yang digunakan pada penginderaan jauh optik berasal dari sumber energi matahari, sedangkan pada penginderaan jauh sistem termal berasal dari objek itu sendiri. Penginderaan jauh sistem termal termasuk dalam penginderaan jauh pasif, namun masih dapat melakukan akuisisi pada malam hari karena tidak membutuhkan energi yang dipancarkan oleh matahari (Fawzi dan Jatmiko, 2018). Energi dari objek yang

ditransmisikan pada penginderaan jauh sistem termal adalah radiasi inframerah termal yang memiliki panjang gelombang 8-14µm. (Fawzi dan Jatmiko, 2018).

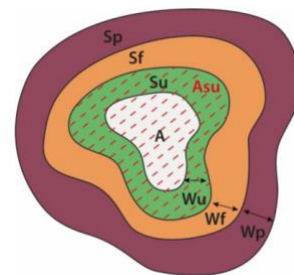
Salah satu satelit penginderaan jauh yang memiliki sensor termal adalah Sentinel-3. Sentinel-3 merupakan misi satelit dari ESA (European Space Agency) Copernicus dan EUMETSAT yang memiliki lima instrumen, yaitu *Ocean and Land Color Instrument* (OLCI), *Sea and Land Surface Temperature Radiometer* (SLSTR), *SAR Radar Altimeter* (SRAL), *MicroWave Radiometer* (MWR) dan *Precise Orbit Determination* (POD) (ESA Copernicus, 2020). Dari lima instrumen pada Sentinel-3, terdapat instrumen yang memiliki sensor termal yaitu SLSTR yang memang ditujukan untuk memperoleh data termal baik di darat (*land*) dan di laut (*sea*). Sentinel-3 memiliki sepasang satelit yang terdiri dari Sentinel-3A dan Sentinel-3B yang bergerak berpasangan mengelilingi bumi (Suhadha, A. G. dan Ibrahim, A., 2019).

II.2 Land Surface Temperature

Land Surface Temperature (LST) atau suhu permukaan adalah suhu bagian kulit (terluar) suatu objek di permukaan bumi (ESA Copernicus, 2020). Berdasarkan sudut pandang satelit, permukaan merupakan segala sesuatu yang dilihatnya melalui atmosfer ke tanah baik berupa bangunan, rumput, kanopi pohon, maupun salju dan es. Suhu permukaan berbeda dengan suhu udara (ESA Copernicus, 2020).

II.3 Boundaries Buffer Concept

Penentuan kawasan urban dan sekitarnya sangat penting untuk analisis *Surface Urban Heat Island*, namun hingga saat ini belum ada standar mengenai hal tersebut dan tiap penelitian memiliki asumsi yang berbeda-beda terhadap penentuan kawasan urban dan sekitarnya. Metode *Boundaries Buffer Concept* yang dikembangkan oleh Sobrino dan Irakulis (2020) dapat menjadi solusi untuk mempermudah penentuan kawasan urban dan sekitarnya. Metode tersebut menggunakan prinsip *buffer* yang dihitung dari poligon area urban dan membaginya menjadi tiga bagian yaitu *Su* (*urban adjacent*), *Sf* (*future urban adjacent*), dan *Sp* (*peri-urban*). Ilustrasi metode *Boundaries Buffer Concept* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Boundaries Buffer Concept (Sobrino dan Irakulis, 2020)

$$W_u = 0,25 A^{1/2} \tag{1}$$

$$W_f = 0,25 A_{Su}^{1/2} \tag{2}$$

$$W_p = 1,5 A^{1/2} - W_f - W_u \tag{3}$$

Keterangan:

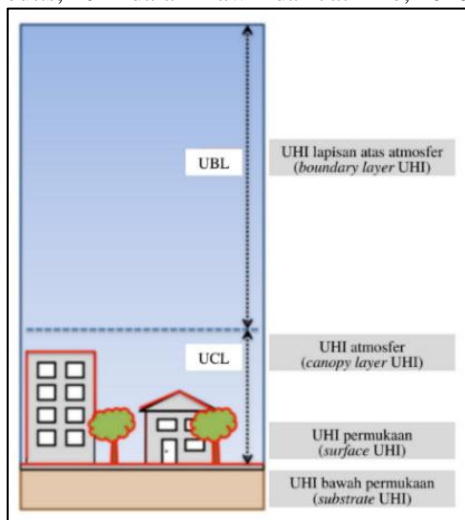
- A = Luas area urban
- A_{Su} = Jumlah luas area A dan *Su*
- W_u = Jarak buffer dari batas terluar A sampai batas terluar *Su*

W_f = Jarak buffer dari batas terluar S_u sampai batas terluar S_f
 W_p = Jarak buffer dari batas terluar S_f sampai batas terluar S_p

Penerapan metode *Boundaries Buffer Concept* membutuhkan nilai luas area urban, maka perlu penentuan area urban untuk selanjutnya dihitung luasnya. Sobrino dan Irakulis (2020) menggunakan data Peta Tutupan Lahan *Climate Change Initiative* (CCI) pada kelas tutupan lahan *urban areas* sebagai penentuan area urban. Pada penelitian ini, penentuan area urban menggunakan data tambahan area urban hasil ekstraksi SAR Sentinel-1B.

II.4 Surface Urban Heat Island (SUHI)

Urban Heat Island (UHI) merupakan fenomena perbedaan suhu yang lebih tinggi di perkotaan dari daerah sekitarnya (American Meteorological Society, 2014 dalam Fawzi, 2017). Daerah perkotaan dalam hal ini disebut dengan daerah urban, sedangkan daerah sekitarnya disebut dengan daerah sub-urban atau peri-urban. Fenomena UHI dibagi menjadi empat yang ditunjukkan Gambar 2, yaitu UHI bawah permukaan (*Substrate Urban Heat Island*), UHI permukaan (*Surface Urban Heat Island*), UHI atmosfer (*Canopy Layer Urban Heat Island*), dan UHI lapisan atas atmosfer (*Boundary Layer Urban Heat Island*) (Harris dan Coutts, 2011 dalam Fawzi dan Jatmiko, 2018).



Gambar 2. Jenis-Jenis UHI (Harris dan Coutts, 2011 dalam Fawzi dan Jatmiko, 2018)

Fenomena UHI yang akan diteliti pada penelitian ini adalah *Surface Urban Heat Island* (SUHI) karena menggunakan data penginderaan jauh yang memiliki informasi suhu permukaan bumi. Pada analisis SUHI diperlukan algoritma atau metode untuk mengidentifikasi daerah yang terdampak maupun tidak terdampak SUHI. Pada penelitian ini akan membandingkan tiga metode identifikasi SUHI, yaitu metode Fawzi (2017); metode UTFVI; dan metode Khomarudin (2004).

II.1.1 Metode Fawzi (2017)

Identifikasi SUHI berdasarkan metode Fawzi (2017) menggunakan nilai ambang batas yang didapatkan dari perhitungan persamaan (4).

$$SUHI_{batas} = LST_{rata-rata} + (0,5 \times \sigma) \tag{4}$$

Keterangan:

- $SUHI_{batas}$ = Ambang Batas SUHI (°C)
- $LST_{rata-rata}$ = Suhu Permukaan Rata-Rata Wilayah Studi (°C)
- σ = Standar Deviasi Suhu Permukaan Wilayah Studi

Jika nilai $LST > SUHI_{batas}$ → Terdampak SUHI.

Jika nilai $LST \leq SUHI_{batas}$ → Tidak Terdampak SUHI.

II.1.2 Metode Khomarudin (2004)

Urban Heat Island (UHI) adalah fenomena peningkatan suhu udara di kawasan perkotaan (urban) dari daerah sekitarnya yang mencapai 3-10 °C (Khomarudin, 2004). Berdasarkan definisi tersebut, identifikasi SUHI dapat dilakukan dengan menambahkan 3 °C pada nilai suhu rata-rata daerah peri-urban sebagaimana persamaan (5) berikut.

$$SUHI_{batas} = LST_{rata-rata \text{ peri-urban}} + 3 \text{ } ^\circ\text{C} \tag{5}$$

Keterangan:

- $SUHI_{batas}$ = Ambang Batas SUHI (°C)
- $LST_{rata-rata \text{ peri-urban}}$ = Suhu Permukaan Rata-Rata Peri-Urban (°C)

Jika nilai $LST \geq SUHI_{batas}$ → Terdampak SUHI.

Jika nilai $LST < SUHI_{batas}$ → Tidak Terdampak SUHI.

II.1.3 UTFVI

Urban Thermal Field Variance Index (UTFVI) merupakan algoritma yang sering digunakan untuk mengevaluasi ekologis lingkungan perkotaan yang berkaitan dengan LST dan berhubungan dengan dampak termal (Sobrino dan Irakulis, 2020). UTFVI juga dapat digunakan untuk mengklasifikasikan tingkat fenomena SUHI pada suatu daerah. Perhitungan nilai UTFVI sesuai dengan persamaan (6) berikut.

$$UTFVI = 1 - (LST_{rata-rata \text{ urban}} / LST_{piksel}) \tag{6}$$

Keterangan:

- $LST_{rata-rata \text{ urban}}$ = Suhu Permukaan Rata-Rata Urban* (°C)
- LST_{piksel} = Suhu Permukaan Urban Masing-Masing Piksel (°C)

*Urban yang dimaksud adalah area A pada *Boundaries Buffer Concept* yang ditunjukkan pada Gambar 1. Hasil UTFVI dapat diklasifikasikan menjadi enam kategori intensitas SUHI pada Tabel 1.

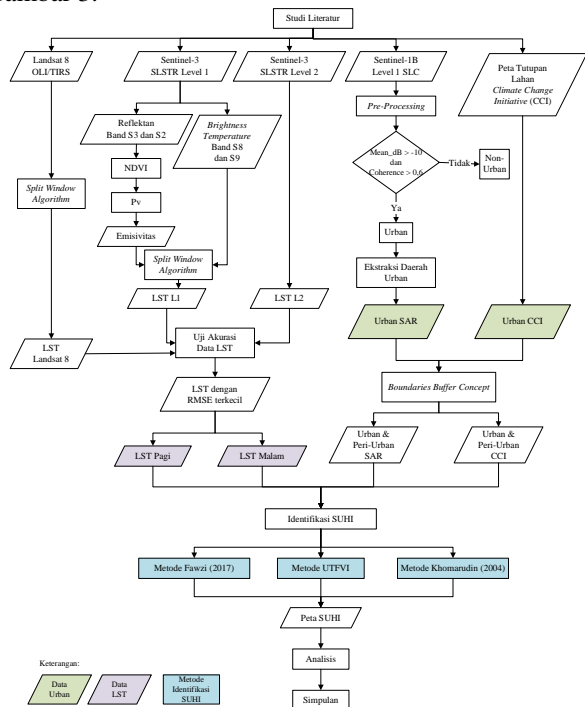
Tabel 1. Klasifikasi Nilai UTFVI (Sobrino dan Irakulis, 2020)

Nilai UTFVI	Intensitas SUHI	Ekologi
< 0	Tidak Ada	Sangat Baik
0 – 0,005	Rendah	Baik
0,005 – 0,010	Sedang	Normal
0,010 – 0,015	Tinggi	Buruk
0,015 – 0,020	Sangat Tinggi	Sangat Buruk
> 0,020	Paling Tinggi	Paling Buruk

III. Pelaksanaan Penelitian

III.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

III.2 Alat dan Data Penelitian

Peralatan yang dibutuhkan untuk menunjang penelitian ini yaitu:

1. Perangkat keras
Laptop Lenovo IdeaPad S340 AMD Ryzen 3 3200U, 64-bit *Operating System*, RAM 8.00 GB.
2. Perangkat lunak
 - a. *Software* SNAP (Sentinels Application Platform)
 - b. *Software* QGIS
 - c. *Software* R

Tabel 2. Data Penelitian

Data Citra	Tanggal Perekaman	Penggunaan
Sentinel-3A SLSTR Level 1	27 Juni 2020 pukul 09:46:03 WIB	Ekstraksi LST (uji akurasi)
Sentinel-3A SLSTR Level 2	27 Juni 2020 pukul 09:46:03 WIB	Nilai LST (uji akurasi)
Landsat 8 OLI/TIRS Level 1	27 Juni 2020 pukul 09:47:53 WIB	Ekstraksi LST (uji akurasi)
Sentinel-1B Level 1 SLC	14 Juni 2020	Ekstraksi area urban (citra <i>reference</i>)
	26 Juni 2020	Ekstraksi area urban (citra <i>secondary</i>)
Sentinel-3B SLSTR Level 2	29 Juni 2020 pukul 22:05:02 WIB	Identifikasi SUHI
	30 Juni 2020 pukul 09:06:57 WIB	Identifikasi SUHI

Tabel 3. Lanjutan Data Penelitian

Sentinel-3B SLSTR Level 1	30 Juni 2020 pukul 09:06:57 WIB	Pengecekan awan
Peta Tutupan Lahan CCI Tahun 2015		Area urban
<i>Shapefile</i> Kota Semarang dan sekitarnya		

Tabel 4. Laman Penyedia Data Penelitian

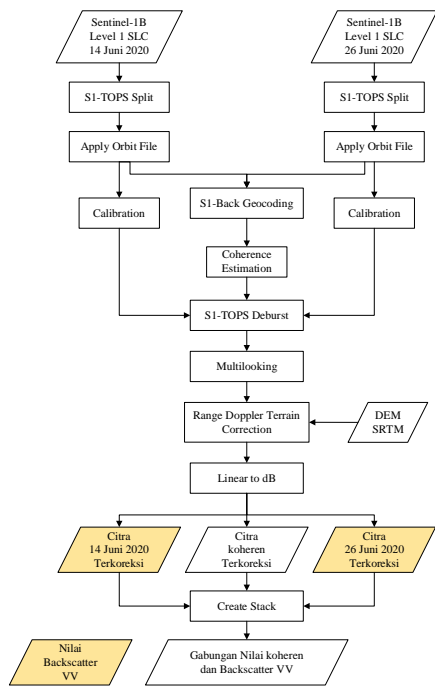
Data	Laman Penyedia Data
Sentinel-3 SLSTR	https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home
Landsat 8 OLI/TIRS	https://earthexplorer.usgs.gov/ .
Sentinel-1B Level 1 SLC	https://search.asf.alaska.edu/#/ .
Peta Tutupan Lahan Climate Change Initiative (CCI)	http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/index.php
<i>Shapefile</i> Kota Semarang dan sekitarnya	https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web

III.3 Pelaksanaan Penelitian

III.3.1 Pra-Pengolahan Citra

Tahap pra-pengolahan dilakukan pada setiap citra yang akan digunakan pada penelitian ini:

1. Sentinel-3 SLSTR Level 1
Produk citra Sentinel-3 SLSTR Level 1 sudah terkalibrasi radiometrik dan terkoreksi geometrik (*ortho-geo-located*). Nilai saluran S1 sampai S6 berupa *Top of Atmosphere* (ToA) radian dan saluran termal S7 sampai S9 berupa *Top of Atmosphere* (ToA) *brightness temperature*. Tahap pra-pengolahan pada Sentinel-3 SLSTR Level 1 meliputi *Reprojection*, *Resampling*, *Radiance to reflectance*, dan *Subset*.
2. Sentinel-3 SLSTR Level 2
Produk citra Sentinel-3 SLSTR Level 2 sudah terkalibrasi radiometrik dan terkoreksi geometrik, maka pra-pengolahan hanya meliputi dua tahapan, yaitu *Reprojection* dan *Subset*.
3. Landsat 8 OLI/TIRS Level 1
Citra Landsat 8 OLI/TIRS Level 1 yang diunduh sudah terkoreksi geometrik dan memiliki sistem proyeksi koordinat UTM Zona 49, namun belum terkalibrasi radiometrik. Maka, tahap pra-pengolahan yang perlu dilakukan adalah kalibrasi radiometrik baik untuk saluran optis (*DN to reflectance*) maupun saluran termal (*DN to radiance* dan *Radiance to Brightness Temperature*).
4. Sentinel-1B Level 1 SLC
Tahapannya dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pra-pengolahan Sentinel-1B Level 1 SLC

III.3.2 Pengolahan

Data hasil pra-pengolahan selanjutnya akan dilakukan pada tahap ini.

1. Ekstraksi LST Sentinel-3 SLSTR Level 1

Ekstraksi LST menggunakan metode *Split Window Algorithm* berdasarkan penelitian (Zheng, Y., dkk, 2019).

$$LST = a_0 + \left(a_1 + a_2 \frac{1-\varepsilon_{89}}{\varepsilon_{89}} + a_3 \frac{\Delta\varepsilon_{89}}{\varepsilon_{89}^2} \right) \frac{T_8 + T_9}{2} + \left(a_4 + a_5 \frac{1-\varepsilon_{89}}{\varepsilon_{89}} + a_6 \frac{\Delta\varepsilon_{89}}{\varepsilon_{89}^2} \right) \frac{T_8 - T_9}{2} + a_7 (T_8 - T_9)^2 \quad (7)$$

Keterangan:

T_8 = Brightness Temperature S8 (°K)

T_9 = Brightness Temperature S9 (°K)

ε_{89} = Emisivitas rata-rata ($\varepsilon = \frac{\varepsilon_8 + \varepsilon_9}{2}$)

$\Delta\varepsilon_{89}$ = Perbedaan emisivitas antar band ($\Delta\varepsilon_{89} = \varepsilon_8 - \varepsilon_9$)

a_{0-7} = Koefisien *split window algorithm* (Zheng, Y., dkk, 2019)

Perhitungan nilai emisivitas saluran dapat menggunakan rumus (8) berikut (Zhang, S. dkk., 2019).

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{vi} P_v + \varepsilon_{si} (1 - P_v) \quad (8)$$

Keterangan:

ε_i = emisivitas saluran i

ε_{vi} = emisivitas daerah vegetasi saluran i

ε_{si} = emisivitas daerah tanah tandus saluran i

P_v = *proportion of vegetation*

2. Ekstraksi LST Landsat 8 OLI/TIRS Level 1

Ekstraksi LST menggunakan metode *Split Window* yang diterapkan pada Landsat 8 OLI/TIRS berdasarkan penelitian (Rozenstein, dkk., 2014; Isaya Ndossi, dkk., 2016; Jiménez-Muñoz dan Sobrino, 2008; dan Li, dkk., 2019 dalam Aik, D. H. J, dkk, 2020).

Rumus untuk ekstraksi nilai LST sesuai persamaan (9) berikut.

$$LST = T_{10} + C_1 (T_{10} - T_{11}) + C_2 (T_{10} - T_{11})^2 + C_0 + (C_3 + C_4 W)(1 - \varepsilon) + (C_5 + C_6 W)\Delta\varepsilon \quad (9)$$

Keterangan:

T_{10} = Brightness Temperature B10 (°K)

T_{11} = Brightness Temperature B11 (°K)

ε = Emisivitas rata-rata ($\varepsilon = \frac{\varepsilon_{10} + \varepsilon_{11}}{2}$)

$\Delta\varepsilon$ = Perbedaan emisivitas antar band

($\Delta\varepsilon = \varepsilon_{10} - \varepsilon_{11}$)

W = water vapor content (g/cm²)

C_{0-6} = Koefisien *split window algorithm* untuk Landsat 8

3. Ekstraksi Area Urban

Ekstraksi area urban dapat dilakukan jika mengetahui nilai *backscatter* dan nilai koherensi dari citra *reference* dan citra *secondary*. Hasil pra-pengolahan yang sudah dijelaskan pada diagram alir pada Gambar 4 selanjutnya dilakukan pengolahan berikut.

- Menghitung rata-rata *backscatter* (mean_dB)
- Menghitung selisih *backscatter* (difference_dB)
- RGB Composite (nilai koheren sebagai Red, mean_dB sebagai Green, dan difference_dB sebagai Blue)
- Mengekstraksi area urban

Penelitian ini mengacu pada Dr. Chris Steward, peneliti European Space Agency, yang menyatakan bahwa suatu piksel dapat diidentifikasi sebagai area urban jika memiliki nilai rata-rata *backscatter* VV lebih dari -10 dan nilai koherensi lebih dari 0,6 (EO College, 2017).

```
if mean_dB > -10 and coherence > 0.6 then 1 else 0
```

Nilai 1 merupakan area urban, sedangkan nilai 0 merupakan non-urban.

4. Penentuan Daerah Urban dan Sekitarnya

Penelitian ini menggunakan metode *Boundaries Buffer Concept* (Sobrino dan Irakulis, 2020) dalam penentuan daerah urban dan sekitarnya yang selanjutnya akan digunakan dalam identifikasi dan analisis SUHI. Area urban yang digunakan yaitu area urban dari Peta Tutupan Lahan *Climate Change Initiative* (CCI) dan area urban hasil ekstraksi data SAR Sentinel-1B Level 1 SLC.

III.3.3 Pasca-Pengolahan

Tahap pasca-pengolahan meliputi:

1. Uji Akurasi Data LST

Uji akurasi data LST dilakukan untuk menguji nilai LST yang diekstrak dari data Sentinel-3 SLSTR Level 1 dan 2 terhadap nilai LST Landsat 8 OLI/TIRS yang dianggap benar. Landsat 8 dipilih sebagai nilai LST yang dianggap benar (*true value*) karena memiliki resolusi spasial yang lebih tinggi daripada data LST Sentinel-3 SLSTR.

- a. Penentuan titik sampel
- b. Deteksi dan eliminasi data *outlier*
- c. Regresi Linier Sederhana
- d. Perhitungan koefisien korelasi (R) dan koefisien determinasi (R²)
- e. Perhitungan *Root Mean Squared Error* (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x_s)^2}{n}} \quad (10)$$

Keterangan:

x_i : nilai LST Landsat 8 (*true value*)

x_s : nilai LST Sentinel-3

n : jumlah sampel

- f. Visualisasi *scatterplot*

2. Identifikasi SUHI

Berdasarkan hasil uji akurasi akan dipilih produk LST dengan RMSE lebih kecil dan korelasi lebih besar antara data LST dari Sentinel-3 SLSTR Level 1 dan 2 yang selanjutnya akan dilakukan pengolahan untuk identifikasi SUHI. Metode identifikasi SUHI yang digunakan yaitu Metode Fawzi (2017); UTFVI; dan Metode Khomarudin (2004).

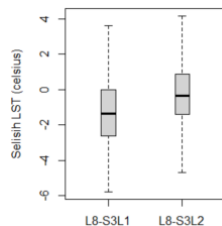
3. Analisis SUHI

Identifikasi SUHI dilakukan pada data LST pagi dan malam hari dari dua data area urban dengan tiga metode identifikasi SUHI. Hasilnya didapatkan 12 peta persebaran SUHI yang selanjutnya akan dianalisis.

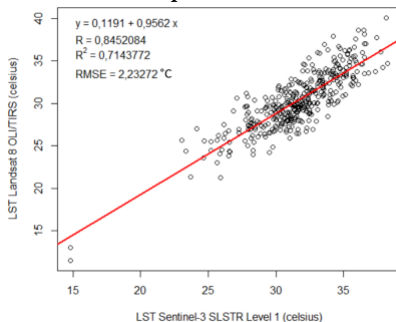
IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Uji Akurasi Data LST

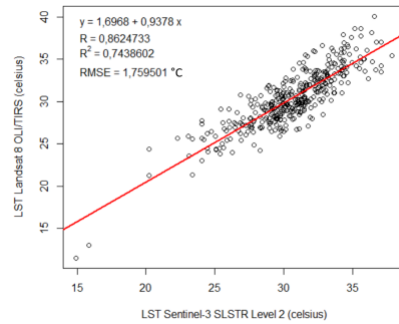
Jumlah sampel hasil perhitungan rumus Slovin sebesar 385,0117 dan dibulatkan menjadi 386. Nilai LST pada citra akan diambil sampel sebanyak 386 titik dan dihitung selisihnya terhadap *true value* lalu divisualisasikan dalam bentuk *boxplot* untuk mengetahui apakah ada nilai *outlier* yang terdeteksi. Jika sudah terbebas dari data *outlier* dapat dilakukan perhitungan regresi linier sederhana, koefisien korelasi, koefisien determinasi dan RMSE.



Gambar 5. *Boxplot* Nilai Selisih LST



Gambar 6. *Scatterplot* LST Landsat 8 dan Sentinel-3 SLSTR Level 1



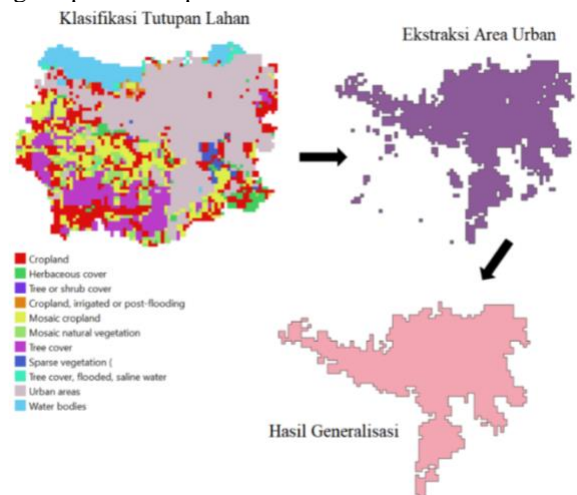
Gambar 7. *Scatterplot* LST Landsat 8 dan Sentinel-3 SLSTR Level 2

Nilai koefisien korelasi (R) dari LST Sentinel-3 SLSTR Level 1 dan 2 berturut-turut adalah 0,845 dan 0,862 yang menunjukkan bahwa keduanya memiliki korelasi sangat kuat terhadap LST *true value*. Koefisien determinasi (R²) dari LST Sentinel-3 SLSTR Level 1 dan 2 berturut-turut adalah 0,714 dan 0,744 yang menunjukkan bahwa keterkaitan antar datanya berturut-turut sebesar 71,4% dan 74,4%. Hasil perhitungan RMSE pada nilai LST Sentinel-3 SLSTR Level 1 dan 2 berturut-turut adalah 2,23 °C dan 1,76 °C. Berdasarkan hasil RMSE, dapat disimpulkan bahwa LST Sentinel-3 SLSTR Level 2 lebih baik dari Level 1.

IV.2 Penentuan Area Urban dan Sekitarnya

IV.2.1 Area Urban dari Data Peta Tutupan Lahan CCI

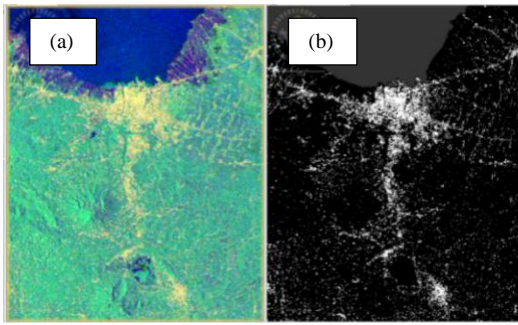
Data Peta Tutupan Lahan CCI perlu dilakukan *editing* untuk mendapatkan area urban dengan poligon penuh. Area urban ditunjukkan oleh warna nila sesuai dengan legenda simbol *urban areas* pada Gambar 8. Tahapan *editing* data urban pada Peta Tutupan Lahan CCI juga dapat dilihat pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Area Urban dari Data Peta Tutupan Lahan CCI

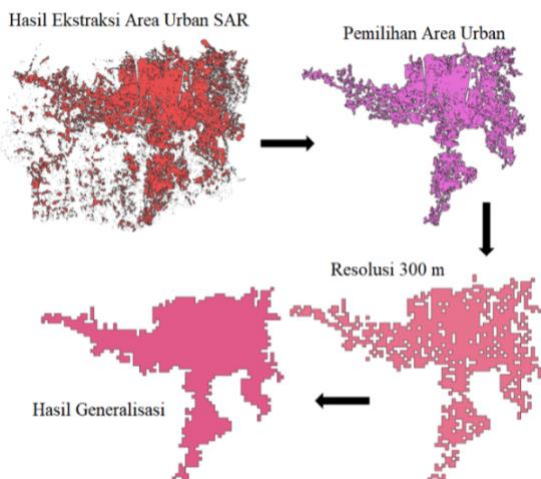
IV.2.2 Area Urban dari Data SAR

Tahapan ekstraksi area urban telah dijelaskan pada sub subbab III.3.2. Berdasarkan pengolahan, didapatkan hasil ekstraksi area urban berwarna putih dan area non-urban berwarna hitam yang dapat dilihat pada Gambar 9, serta dibandingkan pula dengan visualisasi RGB.



Gambar 9. Perbandingan Visualisasi RGB (a) dan Ekstraksi Area Urban (b)

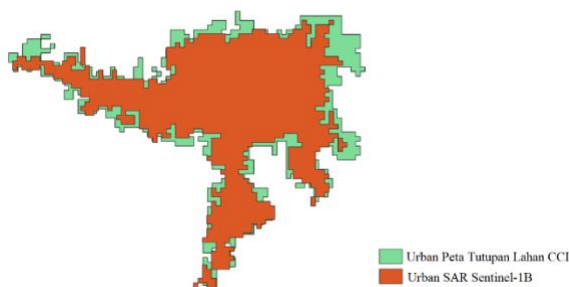
Hasil pengolahan selanjutnya diubah dalam format *shapefile* supaya dapat dilakukan *buffer* menggunakan metode *Boundaries Buffer Concept*. Data *shapefile* hasil ekstraksi area urban perlu dilakukan *editing* sehingga menghasilkan satu area urban berupa poligon penuh. Pada penelitian ini yang dibutuhkan dalam analisis SUHI adalah area urban, sedangkan hasil ekstraksi dari data SAR merupakan *built-up area*. Area urban terdiri tidak hanya *built-up area*, tetapi juga non *built-up area* seperti taman, jalan raya, dan lapangan. Oleh karena itu, bentuk-bentuk lubang pada poligon perlu dihilangkan untuk menghasilkan data urban dengan poligon penuh. Gambar 10 merupakan tahapan *editing* data area urban.



Gambar 10. Area Urban dari Data SAR

IV.2.3 Perbandingan Area Urban

Berdasarkan ekstraksi area urban dari dua data yang dipakai dalam penelitian ini, dapat dibandingkan hasilnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Overlay Data Urban Peta Tutupan Lahan CCI 2015 dan Urban SAR Sentinel-1B

Aini, N dan Sukojo, B. M. (2016) melakukan uji akurasi menggunakan data luas valid (V), omisi (O), dan komisi (K) untuk membandingkan kemiripan data.

$$Akurasi (\%) = \frac{V}{V+O+K} \times 100\% \quad (11)$$

Jika diterapkan pada urban area dan non urban area, maka data valid adalah luas urban area SAR Sentinel-1B yang sesuai dengan urban area Peta Tutupan Lahan CCI, omisi adalah luas urban area SAR Sentinel-1B yang dinyatakan sebagai non urban pada Peta Tutupan Lahan CCI, dan komisi adalah luas non urban area SAR yang dinyatakan sebagai urban area pada Peta Tutupan Lahan CCI. Luas area valid dapat diketahui dari luas area *intersection*. Luas total data valid, omisi, dan komisi dapat diketahui dari luas area *union*. Persamaan (11) dapat diturunkan menjadi persamaan (12)

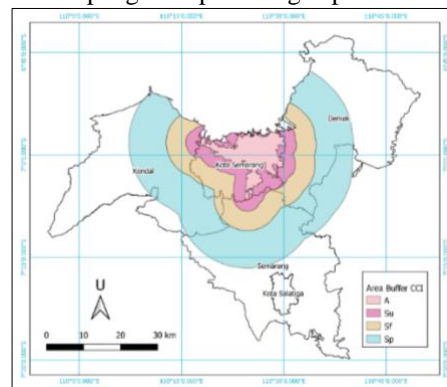
$$Akurasi (\%) = \frac{Luas Intersection}{Luas Union} \times 100\% \quad (12)$$

$$Akurasi (\%) = \frac{116.555.746,068}{156.525.003,365} \times 100\% = 74,465\% \quad (13)$$

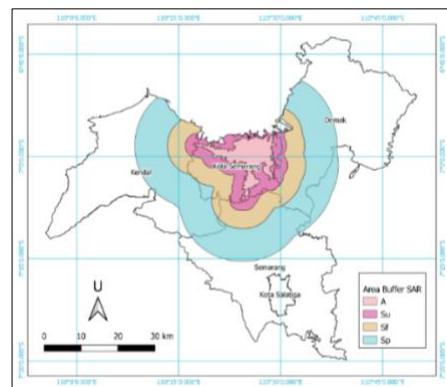
Berdasarkan perhitungan dan visualisasi, area urban dari data Peta Tutupan Lahan CCI dan SAR memiliki kemiripan sebesar 74,465%, namun lebih detail area urban dari data SAR karena memiliki resolusi spasial mencapai 14 meter.

IV.2.4 Boundaries Buffer Concept

Penentuan urban dan sekitarnya pada penelitian ini menggunakan metode *Boundaries Buffer Concept* yang dikembangkan oleh Sobrino dan Irakulis (2020). Hasil proses *buffer* dari data urban yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 13 berikut. Dikarenakan wilayah studi berada di pesisir, maka daerah yang ter-*buffer* di wilayah laut dihilangkan agar tidak mempengaruhi perhitungan pada analisis SUHI.



Gambar 12. Area Buffer CCI

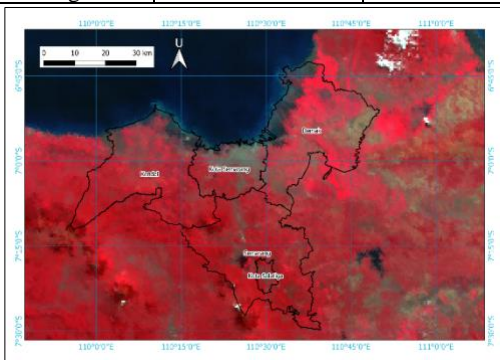


Gambar 13. Area Buffer SAR

Area terluar *buffer* mencapai Kabupaten Demak, Kabupaten Purwodadi, Kabupaten Semarang, Kabupaten Kendal, dan Kabupaten Temanggung. Luas area urban, jarak *buffer* dan luas total area *buffer* ditunjukkan pada Tabel 5. Nilai Wu, Wf, Wp, dan Luas Total Area *Buffer* Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Wu, Wf, Wp, dan Luas Total Area *Buffer*

Area Urban	CCI	SAR
Luas Area Urban (m ²)	152.396.334,898	120.684.420,767
Wu (m)	3.086,223	2.746,412
Wf (m)	5.310,388	4.898,091
Wp (m)	10.120,726	8.833,966
Luas Total (m ²) setelah laut dihilangkan	1.975.333.134,402	1.660.370.192,948



Gambar 14. Sentinel-3 SLSTR Level 1 akuisisi 30 Juni 2020

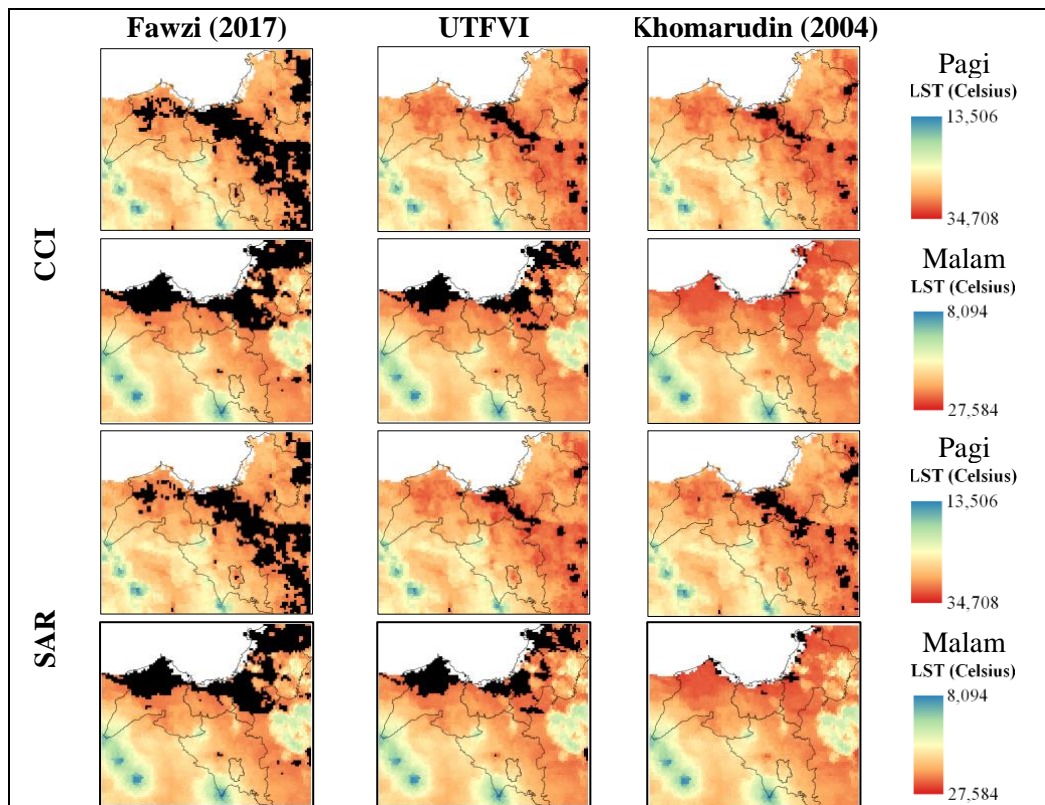
Analisis SUHI membutuhkan data citra satelit yang bebas awan karena akan berpengaruh pada hasil LST, maka perlu memastikan area *buffer* yang akan dilakukan perhitungan berada pada wilayah yang bebas

awan. Data Sentinel-3 SLSTR Level 1 dilakukan visualisasi RGB dengan saluran S3 sebagai *Red*, S2 sebagai *Green*, dan S1 sebagai *Blue*. Hasil visualisasi pada Gambar 14 dapat memperlihatkan bahwa wilayah studi pada penelitian ini bebas dari awan, sehingga tidak perlu dilakukan proses *cloud masking*. Area *buffer* hasil perhitungan menggunakan metode *Boundaries Buffer Concept* yang dapat dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 13 berada pada wilayah yang bebas awan sehingga dapat dilakukan analisis SUHI.

Sentinel-3 SLSTR Level 1 yang diakuisisi pada malam hari tidak memiliki data dari saluran optis, sehingga tidak dapat dilakukan visualisasi RGB yang memperlihatkan citra berawan atau bebas awan. Maka, pada penelitian ini menggunakan data malam hari yang berdekatan dengan data pagi harinya, yaitu akuisisi tanggal 29 Juni 2020 pukul 22:05:02 WIB. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan deteksi awan pada malam hari sehingga dapat memastikan citra yang digunakan bebas awan dan tidak mempengaruhi nilai LST.

IV.3 Analisis SUHI

Pada analisis SUHI diperlukan metode untuk mengidentifikasi daerah yang terdampak maupun tidak terdampak SUHI. Terdapat beberapa metode yang bisa digunakan dan seluruhnya menggunakan nilai LST sebagai dasar perhitungannya. Analisis dilakukan pada data pagi dan malam hari yang diambil dari Sentinel-3 SLSTR Level 2 untuk mengetahui perbandingan pola SUHI yang terjadi baik pada pagi maupun malam hari. Perbandingan SUHI dari tiga metode yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Perbandingan Hasil Metode Identifikasi SUHI Kota Semarang Tahun 2020

Identifikasi SUHI menggunakan metode UTFVI berbeda dari metode Fawzi (2017) dan Khomarudin (2004) yang menggunakan nilai ambang batas SUHI. Metode UTFVI menggunakan hasil perhitungan UTFVI yang kemudian diklasifikasikan menjadi enam kelas sesuai intensitas SUHI, namun nilai ambang batasnya dapat dihitung dengan penurunan rumus menggunakan asumsi daerah terdampak dan tidak terdampak SUHI sesuai Tabel 1.

Area dengan nilai UTFVI yang kurang dari nol (0) merupakan daerah tidak terdampak SUHI, sedangkan yang bernilai lebih dari sama dengan nol (0) merupakan daerah yang terdampak SUHI. Nilai nol pada hasil perhitungan UTFVI dapat diasumsikan sebagai nilai ambang batas SUHI. Jika dilakukan penurunan rumus dari persamaan (6) dengan mengasumsikan hasil UTFVI kurang dari nol (0) yaitu untuk daerah yang tidak terdampak SUHI, maka didapatkan hasil pertidaksamaan (16) berikut.

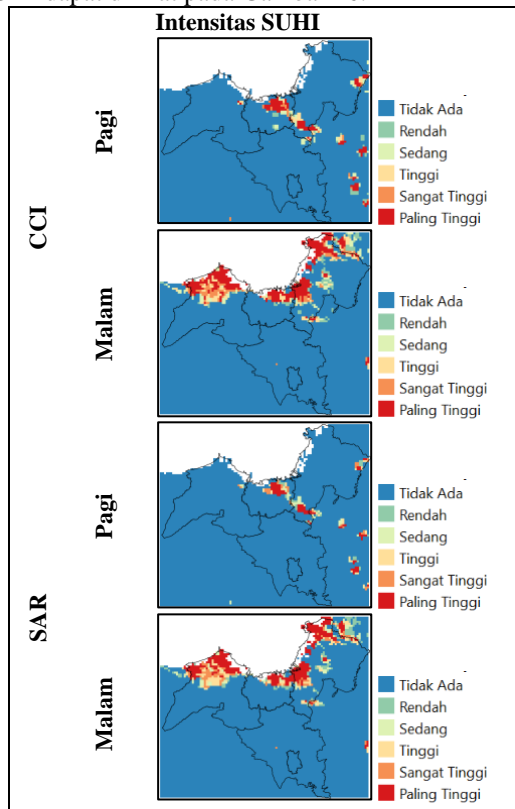
$$1 - \left(\frac{LST_{rata-rata\ urban}}{LST_{piksel}} \right) < 0 \tag{14}$$

$$1 < \left(\frac{LST_{rata-rata\ urban}}{LST_{piksel}} \right) \tag{15}$$

$$LST_{piksel} < LST_{rata-rata\ urban} \tag{16}$$

Berdasarkan pertidaksamaan (16), nilai ambang batas SUHI pada metode UTFVI adalah nilai LST rata-rata urban. Jika nilai LST piksel kurang dari nilai LST rata-rata urban maka tidak terdampak SUHI, sedangkan jika nilai LST piksel lebih dari sama dengan LST rata-rata urban maka terdampak SUHI.

Pada Gambar 15 metode UTFVI hanya menunjukkan perbedaan daerah yang terdampak dan tidak terdampak SUHI saja, hasil klasifikasi intensitas SUHI dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Klasifikasi Intensitas SUHI Metode UTFVI

Tabel 6. Perbandingan Nilai Ambang Batas SUHI

Area Urban	Waktu	SUHibatasi (°C)		
		Fawzi (2017)	UTFVI	Khomarudin (2004)
CCI	Pagi	31,319	32,956	33,237
	Malam	24,626	25,062	26,796
SAR	Pagi	31,440	33,175	32,666
	Malam	24,612	25,115	26,249

Nilai ambang batas LST daerah terdampak SUHI masing-masing metode ditunjukkan pada Tabel 6. Nilai ambang batas tertinggi dihasilkan oleh metode Khomarudin (2004) untuk data malam dan pagi hari, kecuali nilai ambang batas pagi hari dari area *buffer* data SAR. Nilai ambang batas terendah dihasilkan oleh metode UTFVI baik pada data malam maupun pagi hari.

Tabel 7. Perbandingan Luas Area Terdampak SUHI di Kota Semarang Tahun 2020

Area Urban	Waktu	Luas Area Terdampak SUHI (ha)		
		[Persentase (%)]		
		Fawzi (2017)	UTFVI	Khomarudin (2004)
CCI	Pagi	21.313,678 [57,03]	9.336,554 [24,98]	6.695,894 [17,92]
	Malam	12.303,575 [32,92]	8.452,887 [22,62]	0 [0,00]
SAR	Pagi	19.804,744 [53,00]	7.167,446 [19,18]	11.128,421 [29,78]
	Malam	12.303,575 [32,92]	8.358,964 [22,37]	563,517 [1,51]
Luas Kota Semarang		37.370 ha		

Berdasarkan visualisasi pada Gambar 15 kemiripan pola data malam hari terlihat pada metode Fawzi (2017) dan metode UTFVI, sedangkan kemiripan pola pada data pagi hari terlihat pada metode UTFVI dan Khomarudin (2004). Hal ini disebabkan hasil nilai ambang batas LST untuk area terdampak SUHI yang berbeda-beda antar metode. Luas area terdampak SUHI di Kota Semarang pada masing-masing metode ditunjukkan pada Tabel 7. Semakin rendah nilai ambang batas SUHI, area yang terdampak SUHI akan semakin luas, begitupun sebaliknya.

Hasil persebaran area terdampak dan tidak terdampak SUHI di wilayah studi memiliki perbedaan antara data pagi dan malam hari. Pada data pagi, persebaran area terdampak SUHI berada di kawasan urban Kota Semarang, menyebar ke wilayah Kabupaten Demak dan sebagian wilayah Kabupaten Purwodadi. Pada data malam hari, area terdampak SUHI berada di kawasan pesisir baik di Kota Semarang, Kabupaten Demak maupun Kabupaten Kendal. Pada **Error! Reference source not found.** menunjukkan bahwa metode Khomarudin (2004) tidak cocok digunakan pada data malam hari karena hasilnya tidak konsisten terhadap dua metode lainnya, bahkan Kota Semarang tidak ada daerah yang terdampak SUHI pada penggunaan data area urban Peta Tutupan Lahan CCI.

Perbandingan metode identifikasi SUHI untuk menghasilkan peta persebaran SUHI ditunjukkan Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Perbandingan Metode Identifikasi SUHI

Faktor Pembeda	Fawzi (2017)	UTFVI	Khomarudin (2004)
Ambang Batas SUHI	LST rata-rata area studi + $(0,5 \times \alpha)$	LST rata-rata urban	LST rata-rata peri-urban + 3 °C
Area yang dibutuhkan	A+Su+Sf+Sp	A	Sp
Keburuhan <i>Boundaries Buffer Concept</i>	Ya	Tidak	Ya
Klasifikasi Intensitas SUHI	Tidak Ada	Ada	Tidak Ada
Kemiripan hasil data malam	√	√	
Kemiripan hasil data pagi		√	√

Semua metode yang digunakan pada penelitian ini dapat menggunakan perhitungan nilai ambang batas SUHI untuk menunjukkan area terdampak dan tidak terdampak SUHI namun dengan parameter yang berbeda-beda. Metode Fawzi (2017) menggunakan total area *buffer*, metode UTFVI menggunakan area urban, dan metode Khomarudin (2004) menggunakan area peri-urban. Hal tersebut juga mempengaruhi keterbutuhan *Boundaries Buffer Concept* terhadap masing-masing metode. Pada metode Fawzi (2017) perlu menggunakan *Boundaries Buffer Concept* karena membutuhkan nilai LST rata-rata total area *buffer*, metode Khomarudin (2004) juga perlu menggunakan *Boundaries Buffer Concept* karena membutuhkan nilai LST rata-rata peri-urban, sedangkan metode UTFVI tidak perlu menggunakan *Boundaries Buffer Concept* karena hanya membutuhkan nilai LST rata-rata urban.

Berdasarkan tiga metode yang digunakan dalam identifikasi SUHI, metode terbaik untuk menganalisis SUHI adalah metode UTFVI karena memiliki hasil yang konsisten baik data pagi maupun malam harinya terhadap metode lain, dapat mengklasifikasikan hasil intensitas SUHI, serta memiliki proses pengolahan yang lebih sederhana. Metode UTFVI tidak membutuhkan *Boundaries Buffer Concept* karena hanya menggunakan data area urban saja, Metode UTFVI tidak hanya mengidentifikasi SUHI menjadi area terdampak dan tidak terdampak, sehingga dapat mengetahui tingkat intensitasnya lebih detail.

V. Penutup

V.1 Simpulan

Simpulan yang didapatkan untuk menjawab rumusan masalah adalah:

1. Pengolahan citra Sentinel-3 SLSTR menghasilkan nilai LST yang cukup akurat. Hal ini ditandai dengan nilai koefisien determinasi (R^2) pada saat pengujian nilai LST Sentinel-3 SLSTR Level 1 dan 2 terhadap nilai LST Landsat 8 OLI/TIRS sebagai data referensi berturut-turut adalah 71,4% dan 74,4%. Hasil perhitungan RMSE pada nilai LST Sentinel-3 SLSTR Level 1

dan 2 berturut-turut adalah 2,23 °C dan 1,76 °C, maka dapat disimpulkan bahwa LST Sentinel-3 SLSTR Level 2 lebih baik dari Level 1.

2. Pengolahan ekstraksi area urban dari citra SAR Sentinel-1B menghasilkan luas wilayah urban yang hampir sama dengan Peta Tutupan Lahan CCI. Hal ini dapat dilihat dari luasan area urban hasil ekstraksi SAR Sentinel-1B dan Peta Tutupan Lahan CCI yang memiliki kemiripan sebesar 74,456%. Luas area urban di Kota Semarang tahun 2020 dari hasil ekstraksi SAR Sentinel-1B sebesar 12.068,442 ha.
3. Citra Sentinel-3 SLSTR dapat digunakan untuk memetakan SUHI baik pada pagi maupun malam hari. Pada data pagi hari, metode Fawzi (2017) mengidentifikasi area terdampak SUHI di Kota Semarang terluas dibandingkan metode lain, yaitu 21.313,678 ha (57,03%). Pada data malam hari, metode Fawzi (2017) juga mengidentifikasi area terdampak SUHI di Kota Semarang terluas dibandingkan metode lain, yaitu 12.303,575 ha (32,92%). Perbedaan metode identifikasi SUHI menghasilkan perbedaan luas area yang terdampak SUHI. Semakin rendah nilai ambang batas SUHI, luas area yang terdampak akan semakin besar, begitupun sebaliknya. Metode terbaik untuk mengidentifikasi SUHI adalah UTFVI karena paling sederhana, dapat mengklasifikasikan intensitas SUHI, dan memiliki konsistensi hasil yang baik pada data pagi dan malam hari terhadap metode lain.

V.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan terdapat beberapa saran berikut untuk penelitian selanjutnya:

1. Identifikasi awan diperlukan karena akan berpengaruh pada nilai LST. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengembangkan metode identifikasi awan pada malam hari yang dapat diterapkan pada citra Sentinel-3 SLSTR.
2. Resolusi spasial pada satelit sensor termal yang dapat diakses secara terbuka masih kurang detail jika akan diaplikasikan pada daerah yang lebih sempit. Maka, pada penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan metode peningkatan resolusi citra (*super resolution image*) terutama pada saluran termal.
3. Metode *Boundaries Buffer Concept* memerlukan pengolahan data mulai dari perhitungan luas area urban, perhitungan jarak *buffer*, hingga melakukan *buffer* per tahapan. Pada penelitian selanjutnya disarankan dapat membuat *tools* yang dapat memudahkan penelitian, misalnya *plugin* pada *software* QGIS.
4. Perlu menggunakan metode berbasis statistik dengan persentase *probable error* 50%, 95%, dan 99% untuk mengembangkan algoritma identifikasi SUHI.
5. Data penelitian yang digunakan sebaiknya merupakan data terbaru dan disesuaikan dengan data penelitian lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aik, D. H. J., Ismail, M. H., dan Muharam, F. M. 2020. *Land Use/Land Cover Changes and the Relationship with Land Surface Temperature Using Landsat and MODIS Imageries in Cameron Highlands, Malaysia*. MDPI Land Journal, Volume 9, Issue 10, <https://doi.org/10.3390/land9100372>. Diakses pada 5 Februari 2021
- Aini, N dan Sukojo, B. M. 2016. Pemanfaatan Data Landsat-8 dan MODIS untuk Identifikasi Daerah Bekas Terbakar Menggunakan Metode NDVI (Studi Kasus: Kawasan Gunung Bromo). JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5, No. 2, (2016) ISSN: 2337-3539. <http://dx.doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.17155>. Diakses pada 3 Juni 2021
- BPS Kota Semarang. 2020. Kepadatan Penduduk. <https://semarangkota.bps.go.id/indicator/12/48/1/kepadatan-penduduk.html>. Diakses pada 8 September 2020
- EO College. 2017. *ESA Echoes in Space – Land: Urban Footprint Mapping with Sentinel-1* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=JslESstEIVw&t=1322s>. Diakses pada 24 Februari 2021
- ESA. 2014. Sentinel-1 Overview. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/overview>. Diakses pada 24 Februari 2021
- ESA. 2017. *Land Cover CCI Product User Guide Version 2.0*. http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download/ESACCI-LC-Ph2-PUGv2_2.0.pdf. Diakses pada 31 Agustus 2020
- ESA, 2019. Radiometric Resolution Sentinel-3 SLSTR. <https://sentinel.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/Sentinel-3-slstr/resolutions/radiometric>. Diakses pada 7 September 2020
- ESA Copernicus. 2020. Sentinel-3. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-3>. Diakses pada 31 Agustus 2020
- Fawzi, N. I. 2017. Mengukur *Urban Heat Island* Menggunakan Penginderaan Jauh, Kasus di Kota Yogyakarta. Majalah Ilmiah Globe Vol. 19, No.2, hlm. 195-206. Diakses pada 15 September 2020
- Fawzi, N. I. dan Jatmiko, R. H. 2018. Penginderaan Jauh Sistem Termal dan Aplikasinya. Penerbit Ombak. Yogyakarta.
- Katherina, L. K. 2014. Tren Urbanisasi pada *Secondary Cities* di Indonesia Periode Tahun 1990-2010. Jurnal Kependudukan Indonesia Vol. 9, No. 2, hlm. 73 – 82
- Khomarudin, M. R. 2004. Mendeteksi Pulau Panas (*Heat Island*) dengan Data Satelit Penginderaan Jauh. Warta LAPAN Vol. 6, No. 2, hlm. 74 – 81. Diakses pada 8 September 2020
- Lillesand, T. M., Kiefer, R.W., dan Chipman, J. W. 2004. *Remote Sensing and Image Interpretation (Fifth Edition)*. John Wiley & Sons. New York.
- NASA. 2007. “The Electromagnetic Spectrum”. <https://myasadata.larc.nasa.gov/basic-page/electromagnetic-spectrum-diagram>. Diakses pada 19 April 2021
- NASA. 2013a. Landsat 8. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8>. Diakses pada 19 Maret 2021
- NASA. 2013b. Landsat 8 Bands. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-bands>. Diakses pada 19 Maret 2021
- Sobrinho, J. A. dan Irakulis, I. 2020. *A Methodology for Comparing the Surface Urban Heat Island in Selected Urban Agglomerations Around the World from Sentinel-3 SLSTR Data*. MDPI Remote Sensing Journal Volume 12, Issues 12, <https://doi.org/10.3390/rs12122052>. Diakses pada 31 Agustus 2020
- Suhadha, A. G. dan Ibrahim, A. 2019. Satelit Multimisi Sentinel-3 dan Pemanfaatannya dalam Pemantauan Sumber Daya Pesisir dan Laut. Majalah Ilmiah Semi Populer INDERAJA, Vol. X, No. 12, hlm. 41 – 49. Diakses pada 7 September 2020
- USGS. 2019. Landsat 8 (L8) Data Users Handbook. https://prd-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/LSDS-1574_L8_Data_Users_Handbook-v5.0.pdf. Diakses pada 19 Maret 2021
- World Bank. 2014. *Development Policy Review 2014 Indonesia: Avoiding The Trap*. The World Bank Office Jakarta. <https://www.indonesia-investments.com/upload/documenten/world-bank-indonesia-avoiding-the-trap-development-policy-review-2014.pdf>. Diakses pada 9 September 2020
- Zhang, S., Duan, S. B., Li, Z. L., Huang, C., Wu, H., Han, X. J., Leng, P., dan Gao, M. 2019. *Improvement of Split-Window Algorithm for Land Surface Temperature Retrieval from Sentinel-3A SLSTR Data Over Barren Surfaces Using ASTER GED Product*. MDPI Remote Sensing Journal Volume 11, Issue 24. <https://doi.org/10.3390/rs11243025>. Diakses pada 5 Oktober 2020
- Zheng, Y., Ren, H., Guo, J., Ghent, D., Tansey, K., Hu, X., Nie, J., dan Chen, S. 2019. *Land Surface Temperature Retrieval from Sentinel-3A Sea and Land Surface Temperature Radiometer, Using a Split Window Algorithm*. MDPI Remote Sensing Journal Volume 11, Issue 6. <https://doi.org/10.3390/rs11060650>. Diakses pada 13 Januari 2021
- Zhou, D., Xiao, J., Bonafoni, S., Berger, C., Deilami, K., Zhou, Y., Frolking, S., Yao, R., Qiao, Z. dan Sobrinho, J. A. 2019. *Satellite Remote Sensing of Surface Urban Heat Islands: Progress, Challenges, and Perspectives (Review)*. MDPI Remote Sensing Journal Volume 11, Issue 1, <https://doi.org/10.3390/rs11010048>. Diakses pada 14 September 2020