

PENGARUH PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP FENOMENA *URBAN HEAT ISLAND* DAN KETERKAITANNYA DENGAN TINGKAT KENYAMANAN TERMAL (*TEMPERATURE HUMIDITY INDEX*) DI KOTA SEMARANG

Nurfajrin Dhuha Andani^{*)}, Bandi Sasmito, Hani'ah.

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp (024) 76480785, 76480788
Email : andanifajrin@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan Kota Semarang di beberapa sektor merupakan upaya untuk menjadikan Kota Semarang yang lebih maju. Namun, di sisi lain terdapat masalah penting yang perlu diperhatikan, yaitu masalah perubahan lahan yang didominasi oleh lahan terbangun yang dapat merubah sifat fisik permukaan dan mempengaruhi iklim perkotaan. Salah satu unsur iklim yang mengalami perubahan dan dapat dirasakan secara langsung adalah suhu. Peningkatan suhu secara periodik dapat memicu terjadinya fenomena *Urban Heat Island*. Peningkatan suhu cenderung terjadi di pusat kota dibanding di pinggiran kota, karena pusat kota biasanya merupakan pusat kegiatan di berbagai sektor. Peningkatan suhu dari hari ke hari dapat berpengaruh terhadap kenyamanan manusia.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah perubahan tutupan lahan berhubungan dengan fenomena *Urban Heat Island* yang diindikasikan dengan suhu permukaan dan hubungan perubahan tutupan lahan dengan tingkat kenyamanan termal (THI). Analisis dilakukan dengan pendekatan data penginderaan jauh melalui beberapa ekstraksi data, yaitu penggunaan klasifikasi terbimbing, indeks NDVI, pengolahan suhu permukaan, suhu udara, kelembaban udara relatif serta tingkat kenyamanan termal. Pengolahan data dilakukan menggunakan citra satelit Landsat 5 Tahun 2009, Landsat 8 Tahun 2013 dan 2017. Korelasi dilakukan dengan menggunakan uji regresi linear sederhana.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan memiliki hubungan dengan suhu permukaan dan suhu udara. Dengan bertambahnya luasan lahan terbangun, berkurangnya luasan lahan vegetasi dan lahan terbuka dapat menyebabkan perubahan sifat fisik permukaan yang berimplikasi pada peningkatan suhu permukaan dan suhu udara. Peningkatan suhu permukaan yang terjadi akan menyebabkan meluasnya pembentukan UHI. Meluasnya daerah dengan suhu permukaan yang tinggi menyebabkan daerah yang panas dan kering semakin meluas. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara perubahan tutupan lahan dan tingkat kenyamanan termal, semakin bertambahnya luasan lahan terbangun, berkurangnya luasan lahan vegetasi dan lahan terbuka maka nilai tingkat kenyamanan termal meningkat. Meningkatnya nilai THI, menunjukkan kondisi yang tidak nyaman bagi manusia.

Kata Kunci : Perubahan Tutupan Lahan, *Urban Heat Island*, Tingkat Kenyamanan Termal

ABSTRACT

The development of several sectors in Semarang City is an effort to make the city more advanced. On the other hand, there is one important issue that needs to be considered, it is the land cover changes problem dominated by the built-up area which can change surface characteristics physical and affect the urban climate. One of the climatic elements that undergoes changes and can be felt directly is temperature. Periodically increased temperature can lead to the phenomenon of Urban Heat Island. Temperature increasement tends to occur in the city center rather than in the suburbs, as the central area of the city has become the center of activity in various sectors. Temperature increasement from day to day can affect human comfort.

This study aims to determine the relation between land cover change and Urban Heat Island phenomenon indicated by surface temperature, and the relation between land cover change and temperature humidity index (THI). Analysis was performed by remote sensing data approach through some data extraction, ie the use of supervised classification, NDVI, surface temperature, air temperature, relative humidity and temperature humidity index (THI). Data processing is done using Landsat 5 Satellite Image of 2009, Landsat 8 of 2013 and 2017. The correlation is done by using simple linear regression test.

The results show that there are relationship between land cover changes with surface temperature and air temperature. Increasement of built-up area, reduced land vegetation area and open land area can cause changes on surface characteristics physical changes which then imply to rise of surface temperature and air temperature. Increased surface temperature will lead to widespread UHI formation. Widespread areas with high surface temperatures cause the hot and dry areas to expand. The results also show that there is a correlation between land cover change and temperature humidity index. Increased built-up area, reduced land vegetation area and open land area lead to increasing temperature humidity index. Increasing THI value indicates uncomfortable conditions for humans.

Keywords : Land Cover Change, *Urban Heat Island*, Temperature Humidity Index

^{*)}Penulis Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Kota merupakan suatu wilayah yang besar dan memiliki berbagai macam prasarana lengkap sebagai tempat untuk menunjang aktivitas penduduk. Kota memiliki fungsi sebagai tempat tinggal bagi kelompok-kelompok individu, pusat pelayanan pemerintah, pusat pelayanan sosial dan pusat kegiatan ekonomi, sehingga mendorong terjadinya urbanisasi oleh penduduk yang tinggal di desa atau pinggiran kota karena adanya harapan untuk mendapatkan kehidupan yang lebih baik terutama dari segi ekonomi.

Urbanisasi oleh penduduk desa memiliki dampak positif dan negatif bagi suatu kota. Dengan adanya urbanisasi keterbutuhan akan sumber daya manusia di kota dapat terpenuhi. Namun jika tingkat urbanisasi bertambah setiap tahunnya maka dapat menyebabkan bertambahnya kebutuhan ruang untuk tempat tinggal dan aktivitas bagi penduduk. Hal ini menyebabkan perubahan lingkungan, yaitu bergesernya lahan vegetasi di perkotaan menjadi lahan terbangun, sedangkan fungsi lahan vegetasi di perkotaan adalah untuk menyegarkan kota dan menahan radiasi panas, sehingga fenomena ini dapat menimbulkan perubahan unsur iklim di kota.

Kota Semarang adalah salah satu kota terbesar di Indonesia, baik dari jumlah penduduk maupun luas wilayahnya. Berdasarkan data Dinas Kependudukan Dan Pencatatan Sipil, jumlah penduduk Kota Semarang pada bulan Desember tahun 2017 yaitu 1.658.552 jiwa dengan luas wilayah sebesar 373,70 km². Sebagai ibukota dari Provinsi Jawa Tengah, Kota Semarang terus berkembang dari tahun ke tahun karena menjadi pusat kegiatan untuk menunjang pembangunan dari berbagai sektor, mulai dari sektor pemerintahan, perekonomian, perindustrian dan perdagangan. Perkembangan di Kota Semarang adalah upaya untuk menjadikan Kota Semarang yang lebih maju namun disisi lain terdapat masalah yang perlu diperhatikan, semakin berkembangnya Kota Semarang maka akan muncul masalah perubahan lahan yang didominasi oleh lahan terbangun yang dapat menyebabkan masalah lingkungan.

Dengan bertambahnya jumlah penduduk yang menyebabkan bertambahnya rumah tinggal, peningkatan jumlah polusi kendaraan dan bertambahnya sumber panas buatan yang berasal kegiatan industri dan bangunan-bangunan, dapat menimbulkan masalah lingkungan dan mempengaruhi iklim perkotaan. Menurut Kalfuadi Y (2009) perubahan unsur iklim yang dapat terjadi adalah suhu, penerimaan radiasi matahari, kecepatan angin dan keawanan. Dari unsur-unsur tersebut yang dapat dirasakan secara langsung perubahannya adalah suhu. Kondisi dimana suhu di kota lebih tinggi dibanding di desa atau daerah pinggiran disebut dengan fenomena *Urban Heat Island*. Perubahan suhu yang terjadi ini semakin meningkat dari hari ke hari dan berpengaruh terhadap kenyamanan manusia.

Temperature Humidity Index (Indeks Kenyamanan Termal) merupakan suatu metode yang dapat digunakan untuk mengkaji tingkat kenyamanan termal di suatu daerah. Dari metode ini dihasilkan

suatu indeks untuk menetapkan efek dari kondisi panas pada kenyamanan manusia yang mengkombinasikan antara unsur suhu dan kelembaban. (Kalfuadi, Y., 2009).

Lokasi studi kasus penelitian ini adalah Kota Semarang dengan tujuan untuk mengetahui perubahan tutupan lahan, daerah yang terdampak *Urban Heat Island* dan tingkat kenyamanan termal dalam 9 tahun dengan 3 sampel tahun yang berbeda. Metode yang digunakan adalah dengan pemanfaatan teknologi penginderaan jauh yang dapat membantu dalam mengestimasi unsur iklim yaitu suhu permukaan, suhu udara, kelembaban udara relatif serta mengamati perubahan lahan.

Berdasarkan latar belakang yang sudah dipaparkan, maka penelitian ini akan menganalisis hubungan perubahan tutupan lahan terhadap fenomena *Urban Heat Island* dan tingkat kenyamanan termal (THI). Studi tentang fenomena *Urban Heat Island* dan tingkat kenyamanan termal berdasarkan *Temperature Humidity Index* perlu dilakukan agar dapat merekomendasikan kebijakan dalam menangani atau mencegah meningkatnya suhu di perkotaan yang dapat menyebabkan masalah lingkungan.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana hubungan antara perubahan tutupan lahan terhadap distribusi spasial suhu permukaan dan suhu udara di Kota Semarang?
2. Bagaimana fenomena *Urban Heat Island* di Kota Semarang?
3. Bagaimana tingkat kenyamanan termal di Kota Semarang berdasarkan perhitungan *Temperature Humidity Index*?
4. Bagaimana hubungan antara perubahan tutupan lahan dan tingkat kenyamanan termal di Kota Semarang berdasarkan perhitungan *Temperature Humidity Index*?

I.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui hubungan perubahan lahan terhadap fenomena *Urban Heat Island* dan tingkat kenyamanan termal di Kota Semarang. Dengan maksud tersebut, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui jenis tutupan lahan Kota Semarang dan perubahannya dalam kurun waktu 9 tahun serta korelasinya terhadap distribusi suhu permukaan dan suhu udara di Kota Semarang.
2. Mengetahui keberadaan dan intensitas fenomena *Urban Heat Island*.
3. Mengetahui tingkat kenyamanan termal di Kota Semarang berdasarkan perhitungan *Temperature Humidity Index*.
4. Mengetahui hubungan perubahan tutupan lahan dengan tingkat kenyamanan termal (THI).

I.4 Batasan Masalah

Penelitian ini diberi batasan masalah agar bahasan tidak terlalu jauh dari kajian masalah. Berikut batasan masalah dalam penelitian ini:

1. Data penelitian yang digunakan adalah data citra satelit Landsat 5 tahun 2009, citra satelit Landsat 8 tahun 2013 dan 2017 yang diakuisisi pada bulan Agustus, karena bulan tersebut masuk dalam periode musim kemarau, dimana puncak selisih suhu permukaan terjadi pada musim tersebut, sehingga efektif dalam menganalisis fenomena UHI dan tingkat kenyamanan termal.
2. Koreksi radiometrik dilakukan dengan menggunakan kalibrasi radiometrik metode ToA (*Top of Atmosphere*) untuk mengkonversi *digital number* ke radian dan reflektan.
3. Akurasi geometrik menggunakan ICP hasil dari survei lapangan.
4. Metode klasifikasi tutupan lahan menggunakan metode klasifikasi terbimbing (*supervised classification*).
5. Algoritma yang digunakan untuk mendapatkan suhu permukaan, suhu udara, kelembaban udara relatif (RH) dan tingkat kenyamanan termal (THI) mengikuti referensi penelitian Nadia Putri Wicaksana dengan judul "Perubahan *Temperature Vegetation Dryness Index* (TVDI) Dan Kapasitas Panas Pada Ekosistem Lahan Gambut Tahun 2013-2016 (Studi Kasus : PT. BSS 1, Ketapang-Kaliantan Barat) dan penelitian Sobri Effendy dengan judul "Keterkaitan Ruang Terbuka Hijau Dengan *Urban Heat Island* Wilayah Jabodetabek".
6. Rumus yang digunakan untuk mendapatkan sebaran daerah yang terjadi UHI dan intensitasnya mengikuti referensi penelitian Retnadi Heru Jatmiko dengan judul "Penggunaan Citra Saluran Inframerah Termal Untuk Studi Perubahan Liputan Lahan Dan Suhu Sebagai Indikator Perubahan Iklim Perkotaan Di Yogyakarta".
7. Pengolahan data dilakukan pada satu waktu per tahun.
8. Untuk menganalisis hubungan antara perubahan tutupan lahan terhadap fenomena *Urban Heat Island* dan tingkat kenyamanan termal (THI) Kota Semarang menggunakan analisis regresi.

II. TinjauanPustaka

II.1 *Urban Heat Island*

Menurut Voogt (2002) dalam Iswanto P A (2008), *Urban Heat Island* (pulau panas) adalah karakteristik panasnya daerah urban dibandingkan dengan daerah non urban.

Fenomena UHI dibedakan menjadi 2 macam, yaitu *Atmospheric Urban Heat Island* dan *Surface Urban Heat Island*. *Atmospheric Urban Heat Island* (AUHI) ditunjukkan dengan perubahan dan perbedaan suhu yang terjadi di lapisan udara di pusat kota

dengan daerah di sekitarnya. Sebaliknya, *Surface Urban Heat Island* (SUHI) ditunjukkan dengan perubahan dan perbedaan suhu yang dihasilkan dari proses penguapan material permukaan di pusat kota dan daerah disekitarnya(Atrianta, L. dkk., 2017).

Fenomena *Urban Heat Island* dapat diindikasikan dengan menggunakan data suhu permukaan yang diolah dari citra *band* termal sehingga UHI yang dianalisis merupakan *Surface Urban Heat Island* (SUHI)/pulau bahang permukaan.

Menurut Jatmiko R H (2015) peta UHI didapatkandengan mengkombinasikan persamaan yang disampaikan oleh Rajasekar dan Weng (2009) dan Ma, dkk (2010), UHI dapat diidentifikasi dengan persamaan:

$$\text{Ambang Batas UHI} = \text{TS Rata-Rata} + (0.5 \times$$

$$\text{Standar Deviasi}) \dots\dots\dots$$

$$\text{Peta UHI} = \text{TS} - \text{Ambang Batas UHI} \dots\dots\dots$$

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

II.2 Klasifikasi Tutupan Lahan (*Supervised Classification*)

Klasifikasi tutupan lahan adalah upaya mengelompokkan berbagai jenis tutupan lahan kedalam suatu kesamaan sesuai dengan sistem tertentu (Al Mukmin, S.A. dkk., 2016).

Klasifikasi terselia (*supervised classification*) meliputi sekumpulan algoritma yang didasari pemasukan contoh objek (berupa nilai spektral) oleh operator. Contoh ini disebut sampel, dan lokasi geografis kelompok piksel ini disebut sebagai daerah contoh (*training area*)(Danoedoro, P., 2012).

II.3 Indeks NDVI dan Emisivitas

Indeks vegetasi adalah suatu bentuk transformasi spektral yang diterapkan citra multispektral untuk menampilkan aspek kerapatan vegetasi ataupun aspek lain yang berkaitan dengan kerapatan seperti biomassa, *Leaf Area Index* (LAI), konsentrasi klorofil dan sebagainya(Danoedoro, P., 2012).

Formula yang digunakan adalah sebagai berikut (USGS, 2017):

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR}-\text{RED}}{\text{NIR}+\text{RED}} \dots\dots\dots \text{(II.3)}$$

Emisivitas merupakan kemampuan suatu objek untuk memancarkan energinya.Nilai emisivitas dapat diperhitungkan dari pengolahan indeks vegetasi NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*).

Perhitungan emisivitas permukaan yang dapat digunakan pada kondisi permukaan bumi yang heterogen adalah sebagai berikut (Fawzi, N.I., 2014):

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{Pv}} + \varepsilon_{\text{s}}(1-\text{Pv}) + d\varepsilon_{\text{Pv}}(1-\text{Pv}) \dots\dots\dots$$

Keterangan:

ε = Emisivitas permukaan

ε_{v} = Nilai emisivitas vegetasi (0.985)

ε_{s} = Nilai emisivitas tanah (0.960)

$d\varepsilon$ = Faktor bentuk (0.06)

$$\text{Pv} = \left(\frac{|\text{NDVI}| - \text{NDVI}_{\text{min}}}{\text{NDVI}_{\text{maks}} - \text{NDVI}_{\text{min}}} \right) \dots\dots\dots$$

Keterangan:

NDVI = Hasil pengolahan indeks vegetasi

NDVImin = Nilai minimum hasil pengolahan indeks vegetasi
 NDVImaks = Nilai maksimum hasil pengolahan indeks vegetasi

II.4 Suhu Permukaan

Suhu permukaan dapat diartikan sebagai suhu bagian terluar dari suatu objek. Suhu permukaan diperoleh atau dihitung dari energi yang dipancarkan oleh suatu permukaan. Sensor yang digunakan untuk mendeteksi pada satelit adalah sensor *thermal infrared* (Kalfuadi, Y., 2009).

Berikut tahapan dan rumus-rumus yang digunakan untuk mendapatkan suhu permukaan:

1. Konversi *Digital Number* (DN) ke nilai *Spectral Radiance*
2. Konversi nilai *spectral radiance* (Lλ) ke *Brightness Temperature* (TB) (USGS, 2016):

$$TB = \left(\frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \right) - 273$$

Keterangan:

T = TOA *Brightness Temperature* (°C)
 Lλ = *Spectral Radiance* (Watts/(m²*sr*μm))
 K1 = Termal *conversion constant for the band* (K1_CONSTANT_BAND n from the metadata)
 K2 = Termal *conversion constant for the band* (K2_CONSTANT_BAND_n from the metadata)

273 = Nilai untuk konversi suhu dalam satuan Kelvin menjadi Celcius

3. Konversi *Brightness Temperature* (TB) ke *Surface Temperature* (TS)

Persamaan yang digunakan merupakan persamaan yang ditentukan pertama kali oleh Artis dan Canahan (1982) serta Weng (2001) (Effendy, S., 2007):

$$TS = \frac{TB}{1 + \left(\frac{\lambda \cdot TB}{\sigma} \right) \cdot \ln \epsilon}$$

Keterangan:

TS = Suhu Permukaan (°C)
 λ = Panjang gelombang dari radiasi yang dipancarkan (nilai tengah dari band termal ; band 6 (Landsat 5) = 11.45 μm ; band 10 (Landsat 8) = 10.8 μm)
 σ = hc/σ (besarnya = 1.438 x 10⁻² mK)
 ε = Emisivitas objek
 TB = Suhu kecerahan (°C)

II.5 Suhu Udara

Suhu udara adalah suatu gambaran energi yang terdapat di atmosfer atau udara dan dapat dirasakan oleh tubuh serta dapat diukur dengan *thermometer*, dengan satuan °C atau °K (Effendy, S., 2007).

Suhu udara akan dipengaruhi oleh suhu permukaan karena suhu permukaan akan di transfer ke udara dengan proses konveksi melalui udara, sehingga suhu permukaan yang tinggi akan memiliki suhu udara yang tinggi pula (Jatmiko, R.H., 2016).

Menurut Monteith & Unsworth (1990) dalam Effendy S (2007), suhu udara dapat diduga dari nilai

fluks panas udara/*sensible heat flux* (H). Persamaan untuk mengestimasi suhu udara sebagai berikut:

$$Ta = Ts - \left(\frac{H \cdot raH}{\rho_{air} \cdot Cp} \right)$$

Keterangan:

H = Fluks Pemanasan Udara (Wm⁻²)
 raH* = Tahanan Aerodinamik
 ρair = Kerapatan udara lembab (1.27 kg m⁻³)
 Cp = Panas spesifik udara pada tekanan konstan (1004 J Kg⁻¹ K⁻¹)
 Ts = Suhu permukaan (°C)

II.6 Kelembaban Udara Relatif

Kelembaban udara relatif adalah perbandingan banyaknya uap air dalam udara dengan jumlah uap air maksimum yang dapat dikandung oleh udara dalam suhu yang sama. Persamaan untuk mengestimasi RH sebagai berikut (Effendy, S., 2007):

$$RH = \frac{ea}{es} \times 100 \quad (II.6)$$

Keterangan:

RH = Kelembaban relatif (%)
 ea = Tekanan uap aktual (kPa)
 es = Tekanan uap jenuh (kPa)

Tekanan uap jenuh (es) merupakan fungsi dari suhu udara secara empiris dapat dituliskan (Allen dkk dalam Effendy S, 2007):

$$es = 0.6108 \exp \left[\frac{17.27Ta}{Ta + 237.3} \right]$$

Keterangan:

Ta = Suhu udara (°C)
 es = Tekanan uap jenuh (kPa)

Tekanan uap aktual (ea) dapat dihitung dari titik embun (Td) yang secara empiris dapat dituliskan sesuai persamaan sebelumnya, dengan Ta diganti Td.

$$ea = 0.6108 \exp \left[\frac{17.27Td}{Td + 237.3} \right]$$

Keterangan:

ea = Tekanan uap aktual (kpa)
 Td = Suhu Titik Embun (°C)

II.7 Temperature Humidity Index

Temperature Humidity Index merupakan suatu indeks dengan satuan derajat celcius sebagai besaran yang dapat dikaitkan dengan tingkat kenyamanan termal yang dirasakan populasi manusia di wilayah perkotaan (Wati, T dan Fatkhuroyan., 2017).

Menurut Effendy S (2007) berdasarkan penelitian Nieuwolt (1975), penentuan THI atau indeks kenyamanan dapat ditentukan dari nilai suhu udara (°C) dan kelembaban udara relatif (RH) dengan persamaan sebagai berikut:

$$THI = 0.8Ta + \frac{(RH \times Ta)}{500}$$

Keterangan:

THI = *Temperature Humidity Index*
 Ta = Suhu Udara (°C)
 RH = Kelembaban Udara Relatif (%)

Pengkelasan THI yang digunakan adalah kombinasi dari hasil penelitian Emmanuel R (2005) dan Tursilowati L (2015). Berikut pengkelasannya:

Tabel 1 Kelas THI

Rentang Nilai THI (°C)	Keterangan
<20	Tidak nyaman (terlalu sejuk)
20 sd 24	Nyaman
24 sd 26	Cukup nyaman
>26	Tidak nyaman (terlalu panas)

II.8 Matriks Konfusi

Perhitungan akurasi dari hasil klasifikasi dapat dilakukan dengan berbagai metode, salah satu metodenya adalah *Confusion Matrix*. Dalam pengklasifikasian dapat terjadi kesalahan, terdapat dua kesalahan yaitu kesalahan Omisi (*Omission Error*) dan kesalahan Komisi (*Commision Error*).

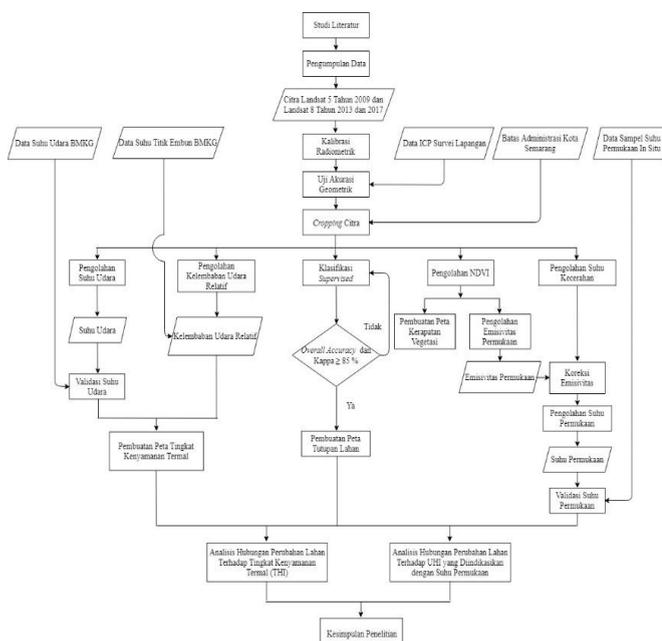
II.9 Analisis Regresi Linear

Analisis regresi adalah metode untuk menentukan hubungan sebab-akibat antara suatu variabel dengan variabel-variabel yang lain. Terdapat dua macam metode regresi, yaitu regresi linear dan regresi eksponensial (Erhaneli dan Irawan, O., 2015).

Analisis regresi linear sederhana digunakan untuk mendapatkan hubungan matematis dalam bentuk suatu persamaan antara variabel tak bebas (variabel terikat) dengan variabel bebas tunggal.

III. Metodologi Penelitian

III.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1 Diagram penelitian

III.2 Peralatan dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian akan dirincikan di bawah ini:

1. Peralatan Pengolahan Data

Perangkat pengolahan data terdiri dari 2 (dua) perangkat. Yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*):

- 1) Perangkat Keras (Hardware)
 - a. Laptop

- b. Handphone
- c. Thermometer Infrared
- 2) Perangkat Lunak (Software)
 - a. ENVI 5.1
 - b. Arcgis 10.3
 - c. Microsoft Office Word 2010
 - d. Microsoft Office Excel 2010
2. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Citra Satelit Landsat 5 Tahun 2009
- 2) Citra Satelit Landsat 8 Tahun 2013
- 3) Citra Satelit Landsat 8 Tahun 2017
- 4) Batas Administrasi Kota Semarang Tahun 2011-2031
- 5) Data Sebaran Sampel Suhu Permukaan Kota Semarang
- 6) Data koordinat lapangan untuk ICP
- 7) Data suhu udara dan suhu titik embun tahun 2009, 2013 dan 2017 dari Stasiun Klimatologi BMKG Kota Semarang

III.3 Pra Pengolahan Citra

III.3.1 Kalibrasi Radiometrik

Kalibrasi radiometrik dilakukan dengan mengkonversi nilai data citra asli dari DN (*Digital Number*) menjadi nilai radian atau reflektan ToA (*Top of Atmospheric*).

III.3.2 Akurasi Geometrik

Akurasi geometrik dilakukan dengan menggunakan data *Independent Control Points* dari pengukuran lapangan sebanyak 20 titik yang tersebar secara merata di seluruh Kota Semarang. Titik ICP merupakan titik-titik yang digunakan untuk menguji ketelitian citra secara geometrik.

III.3.2 Pemotongan Citra (*Cropping Citra*)

Pemotongan citra dilakukan untuk memilih lokasi tertentu yang akan digunakan. Pada penelitian ini daerah yang menjadi fokus penelitian adalah Kota Semarang. Pada proses pemotongan di perlukan batas administrasi daerah penelitian yang berbentuk *vector*.

III.4 Pengolahan Data

III.4.1 Klasifikasi Tutupan Lahan

Penelitian ini menggunakan klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) dengan metode klasifikasi yaitu *maximum likelihood*. Sampel yang diambil untuk setiap kelas tutupan lahan sebanyak 5-10 daerah sampel dengan jumlah piksel sebanyak 10-40 untuk setiap daerah sampel yang diambil secara tersebar dan merata di seluruh cakupan daerah penelitian.

III.4.2 Pengolahan Indeks NDVI dan Emisivitas

Indeks vegetasi NDVI adalah indeks yang dapat menggambarkan tingkat kerapatan vegetasi. Pada citra Landsat 5, pengolahan NDVI menggunakan *band 3 (Red)* dan 4 (NIR). Sedangkan pada citra Landsat 8, pengolahan NDVI menggunakan *band 4 (Red)* dan 5 (NIR). Nilai NDVI yang rendah dan tinggi dapat merepresentasikan kerapatan vegetasi. Untuk

mendapatkan nilai emisivitas, diperlukan nilai NDVI minimum, NDVI maksimum serta nilai NDVI yang dihasilkan.

III.4.3 Pengolahan Suhu Permukaan

Pengolahan data suhu permukaan pada penelitian ini didapatkan dari turunan suhu kecerahan (*Brightness Temperature*). Pengolahan suhu kecerahan (*Brightness Temperature*) menggunakan *band* termal (*band 6*) untuk Landsat 5 dan *band* TIRS (*band 10* dan *11*) untuk Landsat 8. Namun dalam mengolah suhu permukaan *band* yang digunakan hanya pada *band 10* saja, hal ini dikarenakan adanya gangguan (*stray light*) pada *band 11* (USGS, 2018).

Terdapat 4 tahapan dalam pengolahan data suhu permukaan, yaitu sebagai berikut:

1. Konversi *Digital Number* (DN) menjadi Radian Spektral
2. Konversi nilai Radian Spektral ($L\lambda$) ke *Brightness Temperature* (TB)
3. Konversi *Brightness Temperature* (TB) ke *Surface Temperature* (TS)
4. Hasil konversi tersebut kemudian akan dikelompokkan menjadi beberapa kelas dengan interval tertentu.

III.4.4 Pengolahan Suhu Udara

Suhu udara dapat diestimasi dari nilai fluks panas udara (H). Dalam pengolahan suhu udara, sebelumnya dilakukan beberapa tahap pengolahan yaitu perhitungan albedo, perhitungan komponen radiasi netto, nilai fluks panas tanah (G) dan fluks panas udara (H). Nilai albedo dan suhu udara diturunkan dari *spectral radiance* dengan menggunakan *band visible*. Dalam pengolahan suhu udara juga dibutuhkan nilai suhu permukaan dan hasil klasifikasi tutupan lahan.

III.4.5 Pengolahan Intensitas UHI

Urban Heat Island dianalisis dengan menghitung selisih suhu permukaan dengan nilai ambang batas. Nilai selisih suhu yang positif mengindikasikan bahwa daerah tersebut terjadi fenomena UHI, jika bernilai negatif maka daerah tersebut tidak terjadi fenomena UHI.

III.4.6 Pengolahan *Temperature Humidity Index*

Temperature Humidity Index adalah suatu indeks atau metode yang dapat dikaitkan tingkat kenyamanan termal dengan mengkombinasikan data suhu udara dan kelembaban udara relative (RH) di suatu daerah. Nilai suhu udara dan kelembaban udara relatif (RH) dapat diestimasi dengan menggunakan data citra satelit Landsat. Dalam menentukan nilai RH, diperlukan data suhu titik embun (Td) dari Stasiun Klimatologi BMKG Kota Semarang.

III.4.7 Pengambilan Titik Sampel Suhu

Sampel suhu diambil sebanyak 30 sampel yang dilakukan pada tiga kelas tutupan lahan yaitu lahan terbuka, vegetasi dan lahan terbangun di 10 daerah.

Yaitu daerah pantai (PRPP dan Banjir Kanal), daerah dataran rendah (Simpang Lima dan Tugu Muda), daerah perbukitan (Candi Baru, Jatingaleh, Gombel, Mijen, Gunungpati Barat dan Gunungpati Timur).

III.4.8 Analisis Regresi

Analisis regresi dilakukan untuk mengetahui hubungan antara suatu variabel dengan variabel-variabel yang lain. Dalam penelitian ini dilakukan beberapa analisis regresi yaitu:

1. Analisis Hubungan Perubahan Tutupan Lahan dengan Suhu Permukaan
2. Analisis Hubungan Indeks NDVI dengan Suhu Permukaan
3. Analisis Hubungan Perubahan Tutupan Lahan dengan Suhu Udara
4. Analisis Hubungan Perubahan Tutupan Lahan dengan Tingkat Kenyamanan Termal (THI)

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Hasil Kalibrasi Radiometrik

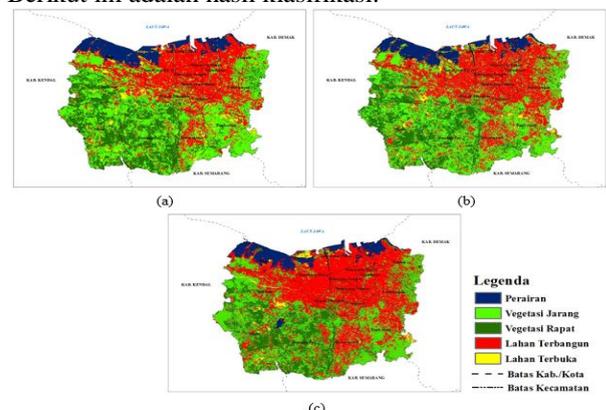
Citra yang sudah dikalibrasi tampak lebih cerah dan jelas. Selain secara visual, perbedaan citra yang sudah dan belum dikalibrasi radiometrik dapat dilihat pada statistik citra nya. Terdapat perubahan rentang nilai DN antara citra yang sudah dan belum dikalibrasi.

IV.2 Hasil Akurasi Geometrik

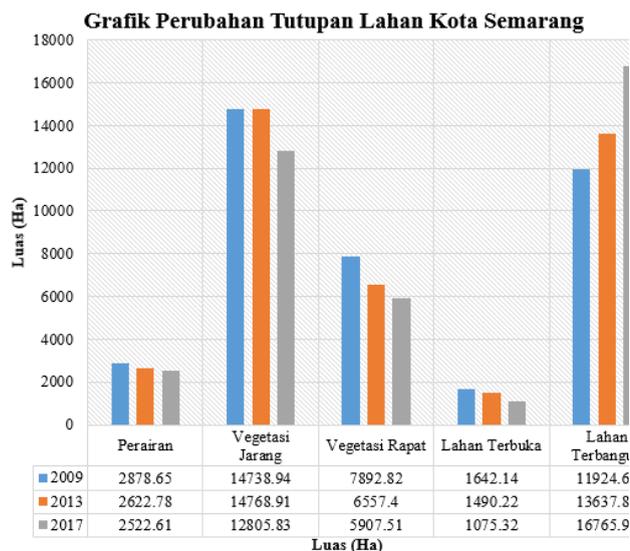
Nilai RMSE pada citra tahun 2009 sebesar 0.132313, pada tahun 2013 sebesar 0.135501 dan pada tahun 2017 sebesar 0.130499. Nilai RMSE yang diperoleh dari analisa geometrik pada masing-masing citra setiap tahunnya sudah memenuhi syarat yaitu kurang dari 1 piksel. Untuk uji ketelitian mengacu pada PERKA BIG Nomor 15 Tahun 2014, peta dengan skala 1 : 50.000 memenuhi standar ketelitian peta dasar dengan ketelitian horizontal kelas 1.

IV.3 Hasil Klasifikasi Tutupan Lahan

Hasil pengolahan citra satelit menggunakan klasifikasi *supervised* dengan metode *maximum likelihood* menghasilkan peta tutupan lahan yang terbagi menjadi 5 kelas, yaitu perairan, vegetasi jarang, vegetasi rapat, lahan terbangun dan lahan terbuka. Berikut ini adalah hasil klasifikasi:



Gambar 2 Perubahan tutupan lahan Kota Semarang tahun 2009 (a), 2013 (b) dan 2017 (c)



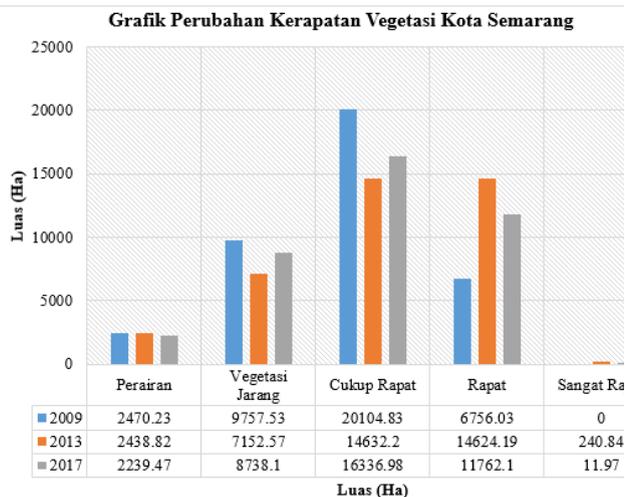
Gambar 3 Grafik perubahan tutupan lahan

Tabel 2 Nilai Overall Accuracy dan Kappa Accuracy

Tahun	Overall Accuracy	Kappa Accuracy
2009	89.2583 %	85.09 %
2013	89.6154 %	85.21%
2017	90.2564%	85.74%

IV.4 Hasil Pengolahan Indeks Vegetasi

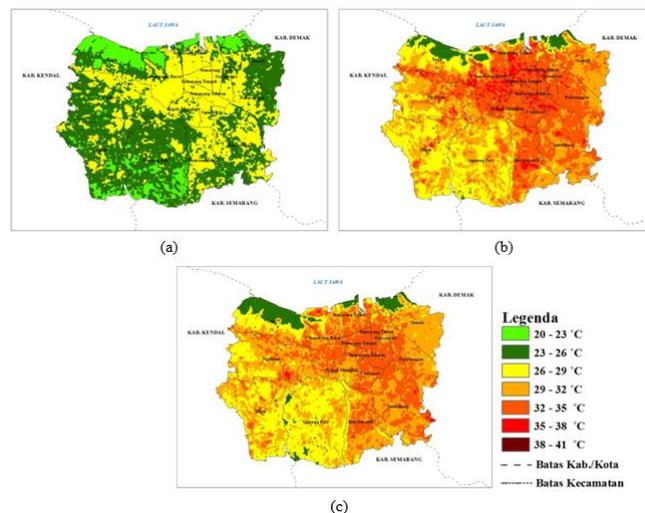
Analisis kerapatan vegetasi dilakukan untuk mendukung dalam analisis perubahan distribusi suhu permukaan dari tahun ke tahun, karena suhu permukaan dapat dipengaruhi oleh kerapatan vegetasi.



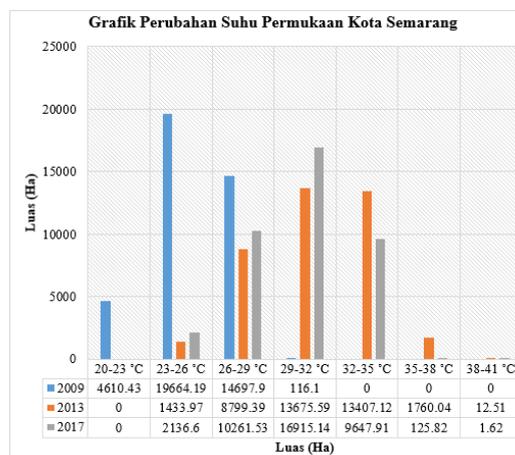
Gambar 4 Grafik perubahan kerapatan vegetasi

IV.5 Hasil Pengolahan Suhu Permukaan

Hasil pengolahan *band thermal* pada masing-masing citra diperoleh distribusi suhu permukaan Kota Semarang pada tahun 2009, 2013, dan 2017. Berikut ini adalah hasil pengolahan suhu permukaan



Gambar 5 Perubahan distribusi suhu permukaan



Gambar 6 Grafik perubahan distribusi suhu permukaan

Terjadi peningkatan nilai suhu permukaan tahun 2009 hingga 2017. Distribusi suhu permukaan hasil pengolahan tahun 2017 lebih dominan dibanding hasil pengolahan tahun 2013 pada rentang suhu 23-26 °C, 26-29 °C, dan 29-32 °C. Namun mengalami penurunan luasannya dibanding hasil pengolahan 2013 pada rentang suhu 32-35 °C, 35-38 °C dan 38-41 °C. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi suhu permukaan yang tinggi lebih banyak terdapat pada hasil pengolahan tahun 2013, dikarenakan banyaknya peristiwa kebakaran pada tahun 2013. Dikutip dari *TribunJateng.com*, jumlah kebakaran di Kota Semarang memuncak pada bulan Agustus karena memasuki musim kemarau.

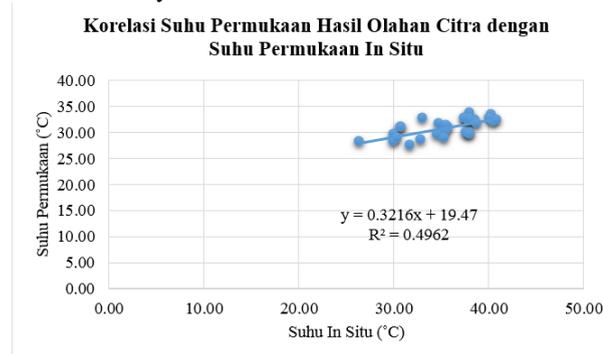
Selain itu juga dipengaruhi oleh faktor skala global, yaitu anomali suhu permukaan global di atas rata-rata pada tahun 2013. Suhu di bumi pada tahun 2013 adalah suhu terpanas keempat sejak tahun 1880. Dikutip dari *DetikNews*, terjadi sejumlah peristiwa ekstrim di berbagai belahan bumi. Fenomena ini juga berdampak pada wilayah sekitar Indonesia Samudera Hindia dan Samudera Pasifik.

IV.5.1 Validasi Suhu Permukaan

Pada penelitian ini validasi dilakukan dengan menggunakan data sampel suhu permukaan yang

diambil di lapangan (suhu in situ). Validasi dilakukan hanya pada suhu permukaan hasil pengolahan tahun 2017 karena waktu akuisisi data citra untuk pengolahan tahun 2009 dan 2013 sama dengan waktu akuisisi data citra untuk pengolahan tahun 2017 yaitu bulan agustus yang cuacanya juga sama yaitu pada musim kemarau. Kondisi cuaca tahun 2017 diasumsikan sama dengan kondisi cuaca pada tahun 2018 sehingga data tahun 2018 dapat digunakan untuk validasi. Hasil dan selisih yang didapatkan bervariasi, RMSE yang dihasilkan sebesar 5.4.

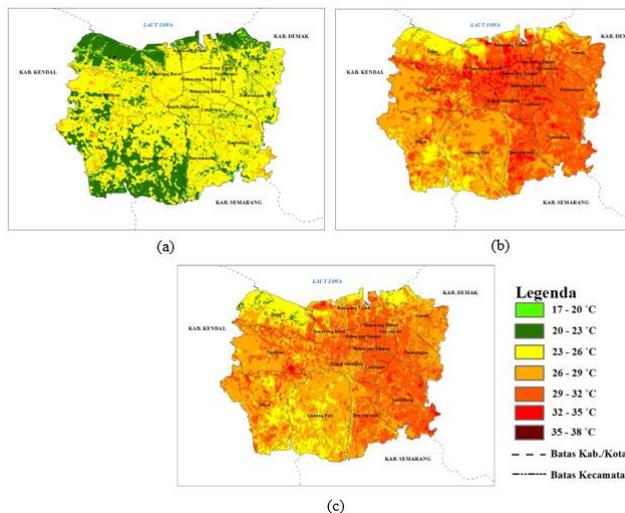
Untuk mengetahui hubungan suhu permukaan hasil olahan citra dengan suhu permukaan yang diambil di lapangan (suhu in situ) dapat dilakukan dengan menggunakan analisis regresi linear sederhana, berikut hasilnya:



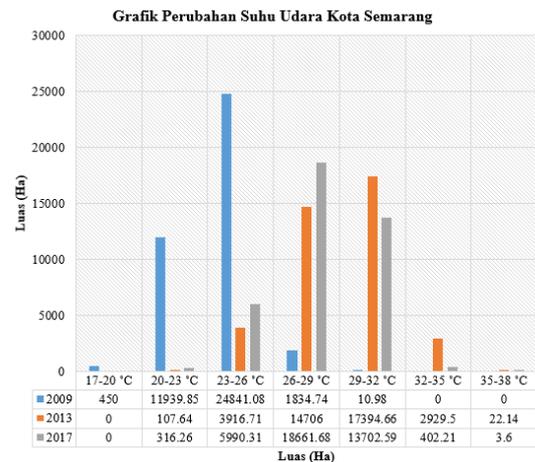
Gambar 7 Hasil regresi linear antara suhu permukaan dengan suhu permukaan in situ

IV.6 Hasil Pengolahan Suhu Udara

Distribusi suhu udara dapat menunjukkan adanya peningkatan/penurunan suhu udara dari tahun ke tahun. Dalam pengolahan suhu udara, digunakan tiga kelas tutupan lahan yaitu perairan, vegetasi dan non vegetasi. Pada penelitian ini sudah diklasifikasikan tutupan lahan menjadi 5 kelas, sehingga untuk mengolah suhu udara kelas vegetasi jarang dan vegetasi rapat digabung menjadi satu kelas yaitu kelas vegetasi. Dan untuk kelas lahan terbangun dan lahan terbuka digabung menjadi satu kelas yaitu kelas non vegetasi. Berikut ini adalah hasil pengolahan suhu udara:



Gambar 8 Perubahan suhu udara Kota Semarang tahun 2009 (a), 2013 (b) dan 2017 (c)



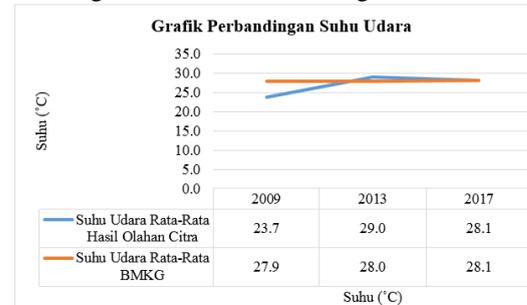
Gambar 9 Grafik perubahan suhu udara

Terjadi peningkatan nilai suhu udara dari tahun 2009 hingga 2017. Distribusi suhu udara hasil pengolahan tahun 2013 mengalami pertambahan luas hingga puncaknya pada rentang 29-32 °C dan mengalami penurunan hingga rentang suhu 35-38 °C.

Distribusi suhu udara hasil pengolahan tahun 2017 lebih dominan dibanding hasil pengolahan tahun 2013 pada rentang suhu 20-23 °C hingga 26-29 °C. Namun mengalami penurunan luasannya dibanding hasil pengolahan 2013 pada rentang suhu 29-32 °C hingga 35-38 °C. Hasil pengolahan suhu udara dipengaruhi oleh hasil dari pengolahan suhu permukaan.

IV.6.1 Validasi Suhu Udara

Pada penelitian ini, validasi dilakukan dengan menggunakan data suhu udara dari Stasiun Klimatologi BMKG Kota Semarang. Berikut hasilnya:



Gambar 10 Grafik perbandingan suhu udara

Suhu udara rata-rata hasil olahan citra mengalami kenaikan dari tahun 2009 ke tahun 2013 kemudian mengalami penurunan dari tahun 2013 ke tahun 2017. Sedangkan suhu udara rata-rata BMKG mengalami kenaikan dari tahun 2009 hingga tahun 2017. Hal ini dikarenakan tahun 2017 memiliki rata-rata suhu permukaan yang lebih rendah dibanding suhu rata-rata permukaan tahun 2013 sehingga suhu udara rata-rata tahun 2017 lebih rendah dibanding suhu udara rata-rata tahun 2013. Hasil rata-rata suhu permukaan tahun 2013 dapat lebih tinggi karena banyaknya peristiwa kebakaran yang terjadi dan memuncak pada bulan Agustus serta dipengaruhi oleh faktor skala global, yaitu anomali suhu permukaan global di atas rata-rata pada tahun 2013. Adanya selisih suhu udara rata-rata

hasil pengolahan dan suhu udara rata-rata dari stasiun BMKG juga dikarenakan suhu udara yang didapat adalah suhu udara rata-rata perbulan dalam 24 jam pengukuran yang dirata-ratakan setiap tahunnya, bukan suhu udara pada jam yang sama dengan jam perekaman citra satelit Landsat.

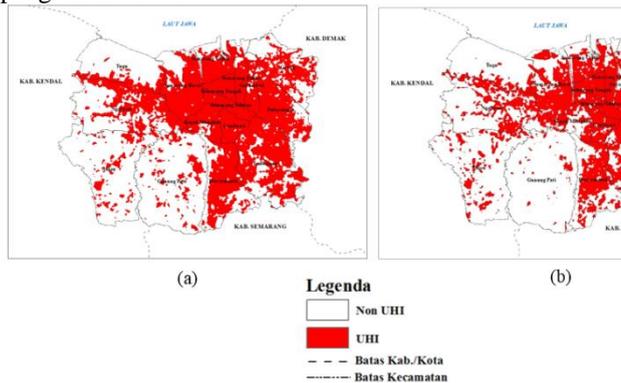
Untuk mengetahui hubungan suhu udara hasil olahan citra dengan suhu permukaan yang diambil di lapangan (suhu in situ) dapat dilakukan dengan analisis regresi linear sederhana. Berikut hasilnya:



Gambar 11 Hasil regresi linear antara suhu udara dengan suhu permukaan in situ

IV.7 Hasil Pengolahan Urban Heat Island

Urban Heat Island dapat dianalisis dengan menghitung selisih suhu permukaan dengan nilai ambang batas yang sudah didapatkan. Ambang batas yang digunakan adalah sebesar 31.295 °C. Pada tahun 2009 tidak terjadi fenomena UHI di Kota Semarang. Fenomena Urban Heat Island di Kota Semarang terjadi pada tahun 2013 dan 2017. Pada tahun 2013, didapatkan intensitas UHI sebesar ± 9.01 °C dari nilai ambang batas UHI, sedangkan Pada tahun 2017 didapatkan intensitas UHI sebesar ± 7.38 °C dari nilai ambang batas UHI, ditemukan bahwa daerah Kecamatan Candisari, Gajahmungkur, Gayamsari, Semarang Selatan, Semarang Tengah dan Semarang Timur berpotensi kuat terjadi UHI. Berikut hasil pengolahan UHI:

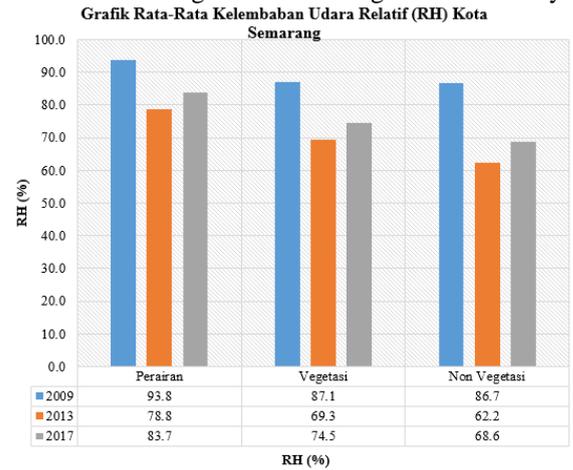


Gambar 12 Urban Heat Island (a) 2013, (b) 2017

IV.8 Hasil Pengolahan Kelembaban Udara Relatif (RH)

Kelembaban udara relatif (RH) dipengaruhi oleh suhu udara, jika suhu udara meningkat maka kelembaban udara relatif akan relatif kecil, begitu juga sebaliknya. Pada penelitian ini, untuk mendapatkan kelembaban udara relatif (RH) permukaan bumi, digunakan data suhu udara yang diolah dari citra dan

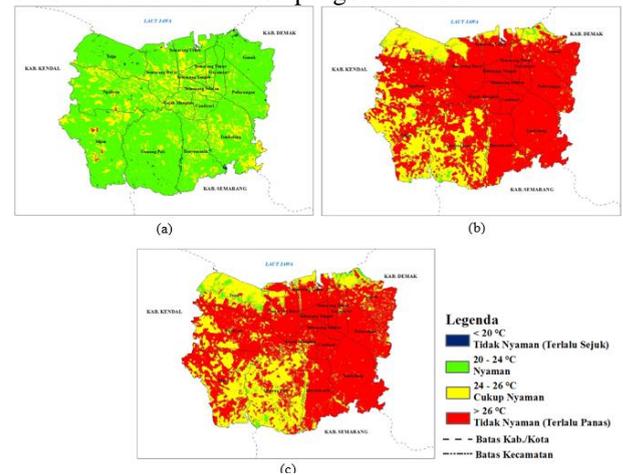
nilai suhu titik embun yang didapatkan dari stasiun BMKG Klimatologi Kota Semarang. Berikut hasilnya:



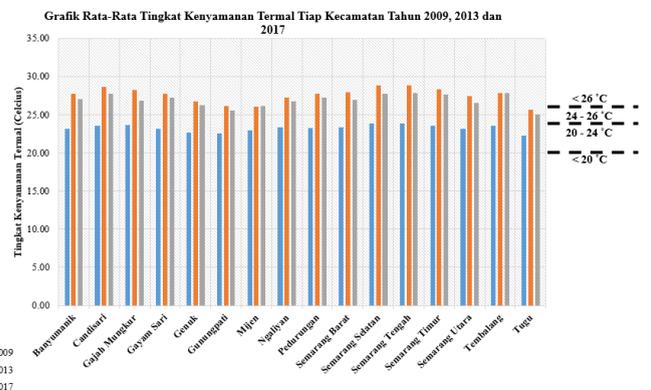
Gambar 13 Grafik rata-rata kelembaban udara relatif

IV.9 Hasil Pengolahan Temperature Humidity Index

Indeks kenyamanan termal (THI) adalah besaran yang dapat dikaitkan dengan tingkat kenyamanan termal yang dirasakan populasi manusia dengan mengkombinasikan data suhu udara dan kelembaban udara relatif. Berikut hasil pengolahan THI:



Gambar 14 Sebaran tingkat kenyamanan termal tahun 2009 (a), 2013 (b) dan 2017 (c)



Gambar 15 Grafik rata-rata tingkat kenyamanan termal tiap kecamatan

Pada tahun 2009 kondisi kenyamanan termal Kota Semarang berada pada kategori nyaman yaitu dengan rentang nilai 20-24 °C sedangkan pada tahun

2013 dan 2017 memiliki kondisi kenyamanan termal dengan kondisi tidak nyaman (terlalu panas) yaitu dengan nilai >26 °C. Penurunan kenyamanan termal dari tahun 2009 ke tahun 2013 dan 2017 terjadi diseluruh kecamatan.

Namun tingkat kenyamanan termal dari tahun 2013 ke tahun 2017 mengalami penurunan nilai indeks secara rata-rata yang artinya terjadi peningkatan kenyamanan, hal ini karena nilai tingkat kenyamanan termaldipengaruhi suhu udara sedangkan suhu udara dipengaruhi oleh suhu permukaan. Peningkatan kenyamanan termaldari tahun 2013 ke tahun 2017 terjadi diseluruh kecamatan kecuali Kecamatan Mijen.

IV.10 Analisis Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Suhu Permukaan

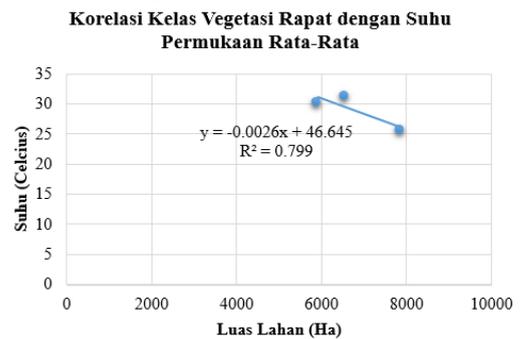
Hasil pengolahan tutupan lahan dan suhu permukaan berupa luasan dan sebaran. Dari hasil tersebut terjadi peningkatan luasan lahan terbangun dari tahun 2009 hingga 2017, peningkatan luasan ini terjadi di seluruh kecamatan dan dominan di beberapa kecamatan yaitu Kecamatan Gajahmungkur, Ngaliyan, Pedurungan, Tembalang dan Semarang Barat. Sedangkan distribusi suhu permukaan yang tinggi memusat di beberapa daerah yaitu Kecamatan Candisari, Gajahmungkur, Gayamsari, Semarang Selatan, Semarang Tengah, dan Semarang Timur karena daerah-daerah tersebut merupakan wilayah pusat kota yang dipadati dengan gedung-gedung besar, pabrik-pabrik industri, dan perumahan serta memiliki lahan vegetasi yang sempit. Hal ini yang mengindikasikan adanya fenomena *Urban Heat Island*, yaitu sekumpulan distribusi suhu permukaan yang tinggi berada di pusat kota dan kemudian suhu permukaannya menurun ke daerah pinggiran kota/pedesaan. Kemudian dilakukan analisis regresi linear sederhana untuk memperdalam analisa, berikut hasilnya:



Gambar 16 Hasil regresi antara lahan terbangun dengan suhu permukaan rata-rata



Gambar 17 Hasil regresi lahan terbuka dengan suhu permukaan rata-rata



Gambar 18 Hasil regresi vegetasi rapat dengan suhu permukaan rata-rata

Dengan bertambahnya luasan lahan terbangun dan berkurangnya luasan lahan vegetasi di pusat kota dapat menyebabkan peningkatan suhu permukaan yang memicu pembentukan *Urban Heat Island* di Kota Semarang. Namun peningkatan suhu permukaan tidak hanya dikarenakan adanya perubahan lahan, tetapi juga disebabkan panas antropogenik (kegiatan manusia seperti polusi kendaraan, kegiatan industri dan sumber panas buatan lainnya).

IV.11 Analisis Hubungan NDVI Terhadap Suhu Permukaan

Hasil dari pengolahan NDVI dikorelasikan dengan hasil pengolahan suhu permukaan. Dari korelasi tersebut dihasilkan berupa persamaan dan koefisien determinasi yang menunjukkan persentase pengaruh NDVI terhadap suhu permukaan. Pada tahun 2009 dihasilkan persamaan $y = -4.7837x + 26.959$ dengan pengaruh sebesar 69.35 %. Pada tahun 2013 dihasilkan persamaan $y = -3.261x + 34.372$ dengan pengaruh sebesar 75.06 %. Pada tahun 2017 dihasilkan persamaan $y = -4.0394x + 33.304$ dengan pengaruh sebesar 76.43 %. Dari ketiga persamaan tersebut koefisien regresi bernilai negatif yang berarti kedua parameter berbanding terbalik, artinya semakin rapat vegetasi maka nilai suhu permukaan semakin rendah.

IV.12 Analisis Hubungan Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Suhu Udara

Hasil pengolahan tutupan lahan dan suhu udara berupa luasan dan sebaran. Dari hasil tersebut terjadi peningkatan luasan lahan terbangun dari tahun 2009 hingga 2017, peningkatan luasan ini terjadi di seluruh kecamatan dan dominan di beberapa kecamatan yaitu Kecamatan Gajahmungkur, Ngaliyan, Pedurungan, Tembalang dan Semarang Barat. Sedangkan nilai suhu udara Kota Semarang mengalami peningkatan dari tahun 2009 ke 2013 dan mengalami penurunan secara rata-rata dari tahun 2013 ke tahun 2017. Distribusi suhu udara yang tinggi memusat di beberapa daerah yaitu Kecamatan Candisari, Gajahmungkur, Gayamsari, Semarang Selatan, Semarang Tengah, dan Semarang Timur. Suhu udara di pengaruhi suhu permukaan, karena dalam prosesnya suhu permukaan akan di transfer ke udara melalui proses konveksi

melalui udara, sehingga suhu permukaan yang tinggi akan memiliki suhu udara yang tinggi pula.

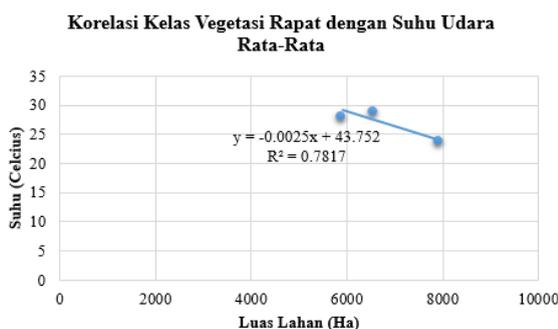
Perubahan tutupan lahan yang didominasi oleh lahan terbangun menyebabkan nilai suhu permukaan, fluks panas udara (H), dan fluks panas tanah (G) meningkat sehingga menyebabkan peningkatan pada suhu udara. Kemudian dilakukan analisis regresi linear sederhana untuk memperdalam analisa, berikut hasilnya:



Gambar 19 Hasil regresi lahan terbangun dengan suhu udara rata-rata



Gambar 20 Hasil regresi lahan terbuka dengan suhu udara rata-rata



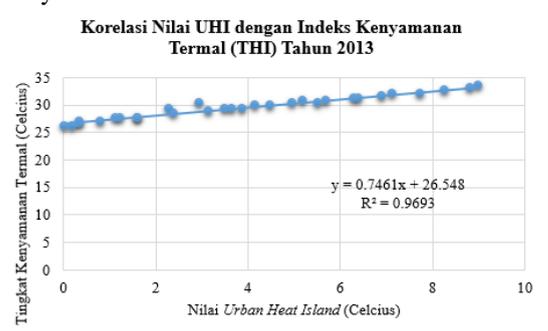
Gambar 21 Hasil regresi vegetasi rapat dengan suhu udara rata-rata

IV.13 Analisis Hubungan UHI Tingkat Kenyamanan Termal (THI)

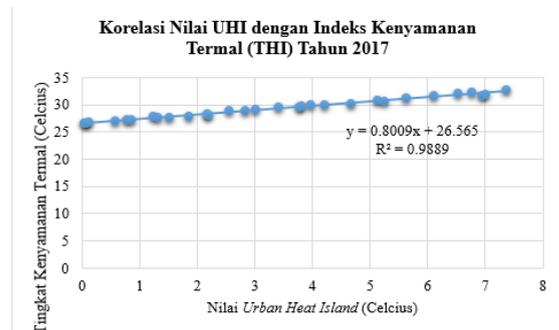
UHI terjadi hanya pada tahun 2013 dan 2017, sehingga tingkat kenyamanan termal pada tahun 2009 berada pada kategori nyaman dengan nilai THI sebesar 20-24°C. Sedangkan pada tahun 2013, UHI Kota Semarangberpotensi kuat di Kecamatan Candisari, Gajah Mungkur, Gayam Sari, Semarang Barat, Semarang Selatan, Semarang Tengah, dan Semarang Timur, sehingga pada tahun 2013 tingkat kenyamanan termal Kota Semarang berubah menjadi dominan tidak

nyaman (terlalu panas) dengan nilai THI > 26°C. Pada tahun 2017 UHI Kota Semarangberpotensi kuat di Kecamatan Candisari, Semarang Selatan, Semarang Tengah, dan Semarang Timur, sehingga pada tahun 2017 tingkat kenyamanan termal Kota Semarang menjadi dominan tidak nyaman (terlalu panas) dengan nilai THI > 26°C. Dapat disimpulkan bahwa ada hubungan antara fenomena UHI dengan tingkat kenyamanan termal, yaitu peningkatan UHI akan menyebabkan kenaikan nilai THI, jika UHI menurun maka akan memberikan perubahan yang nyata bagi tingkat kenyamanan termal, dengan menurunnya nilai tingkat kenyamanan termal mengindikasikan peningkatan kenyamanan termal.

Kemudian dilakukan analisis regresi linear sederhana untuk memperdalam analisa, berikut hasilnya:



Gambar 22 Hasil regresi nilai UHI dengan tingkat kenyamanan termal (THI) tahun 2013



Gambar 23 Hasil regresi nilai UHI dengan tingkat kenyamanan termal (THI) tahun 2017

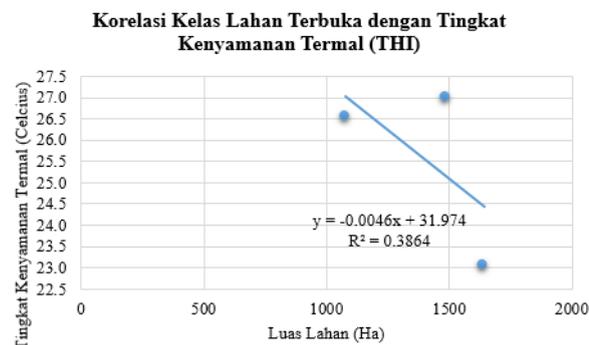
IV.14 Analisis Hubungan Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Tingkat Kenyamanan Termal (THI)

Hasil pengolahan tutupan lahan dan tingkat kenyamanan termal berupa luasan dan sebaran. Dari hasil tersebut terjadi peningkatan luasan lahan terbangun dari tahun 2009 hingga 2017, peningkatan luasan ini terjadi di seluruh kecamatan dan dominan di beberapa kecamatan yaitu Kecamatan Gajahmungkur, Ngaliyan, Pedurungan, Tembalang dan Semarang Barat. Sedangkan distribusi tingkat kenyamanan termal dari tahun 2009 hingga tahun 2017 mengalami perubahan. Pada tahun 2009 secara keseluruhan wilayah Kota Semarang berada pada kategori nyaman yaitu dengan rentang nilai THI sebesar 20-24°C, sedangkan tahun 2013 dan 2017 secara keseluruhan wilayah Kota Semarang berada pada kategori tidak nyaman (terlalu panas) dengan nilai THI > 26°C.

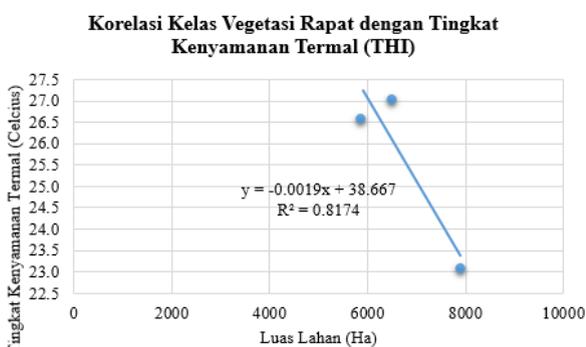
Kemudian dilakukan analisis regresi linear sederhana untuk memperdalam analisa, berikut hasilnya:



Gambar 24 Hasil regresi lahan terbangun dengan tingkat kenyamanan termal (THI)



Gambar 25 Hasil regresi lahan terbuka dengan tingkat kenyamanan termal (THI)



Gambar 26 Hasil regresi vegetasi rapat dengan tingkat kenyamanan termal (THI)

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal untuk menjawab rumusan masalah. Berikut beberapa hal yang dapat disimpulkan:

1. Perubahan tutupan lahan memiliki hubungan dengan suhu permukaan dan suhu udara. Dengan bertambahnya luasan lahan terbangun, berkurangnya luasan lahan vegetasi dan lahan terbuka dapat menyebabkan perubahan sifat fisik permukaan yang berimplikasi pada peningkatan suhu permukaan dan suhu udara. Semakin meningkatnya nilai suhu permukaan dapat berdampak pada meluasnya pembentukan *Urban Heat Island*.

2. Fenomena UHI di Kota Semarang terjadi pada tahun 2013 dan 2017. Pada tahun 2013, didapatkan intensitas UHI sebesar ± 9.01 °C dari nilai ambang batas UHI, sedangkan pada tahun 2017 didapatkan intensitas UHI sebesar ± 7.38 °C dari nilai ambang batas UHI, ditemukan bahwa daerah Kecamatan Candisari, Gajahmungkur, Gayamsari, Semarang Selatan, Semarang Tengah dan Semarang Timur berpotensi kuat terjadi UHI sehingga perlu adanya upaya mitigasi agar tidak terjadinya dampak pada lingkungan.
3. Tingkat kenyamanan termal (THI) di Kota Semarang dari tahun 2009 hingga 2017 mengalami perubahan. Pada tahun 2009 Kota Semarang secara keseluruhan berada pada kondisi nyaman yaitu pada rentang nilai THI sebesar 20-24 °C dengan nilai rata-rata tingkat kenyamanan termal sebesar 23.05 °C. Sedangkan pada tahun 2013 Kota Semarang berada pada kategori tidak nyaman (terlalu panas) dengan nilai > 26 °C, secara keseluruhan nilai rata-rata tingkat kenyamanan termal di Kota Semarang pada tahun 2013 sebesar 27.03 °C. Dan pada tahun 2017 Kota Semarang berada pada kategori tidak nyaman (terlalu panas) dengan nilai > 26 °C, secara keseluruhan nilai rata-rata tingkat kenyamanan termal di Kota Semarang pada tahun 2017 sebesar 26.53 °C.
4. Perubahan luasan tutupan lahan di Kota Semarang memiliki hubungan dengan tingkat kenyamanan termal (THI), semakin bertambahnya luasan lahan terbangun, berkurangnya luasan lahan vegetasi dan lahan terbuka maka nilai tingkat kenyamanan termal meningkat. Meningkatnya nilai THI, menunjukkan kondisi yang tidak nyaman bagi manusia.

V.2 Saran

Dari hasil penelitian, ditemukan beberapa saran yang dapat dijadikan masukan untuk penelitian selanjutnya. Berikut beberapa saran yang dapat disampaikan:

1. Pengambilan sampel suhu permukaan untuk validasi dilakukan di hari yang sama dengan tanggal akuisisi citra yang digunakan dan merata diseluruh wilayah penelitian agar suhu yang dihasilkan lebih akurat.
2. Pengambilan sampel suhu permukaan menggunakan alat ukur suhu yang lebih teliti (selain *infrared thermometer*), agar suhu hasil pengolahan lebih sesuai dengan suhu lapangan.
3. Memperbanyak referensi atau literatur tentang tingkat kenyamanan termal (THI) dan pengolahannya agar proses pengerjaan dan pengolahan berjalan dengan lancar serta memperkuat landasan teori dalam menganalisis.

4. Perlu pengujian hasil suhu permukaan dengan penggunaan koreksi radiometrik metode BOA.
5. Pengolahan suhu permukaan dan suhu udara perlu mempertimbangkan ketinggian suatu tempat, karena ketinggian suatu tempat merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi suhu.
6. Perlu memperhitungkan variabel iklim lain atau variabel kenyamanan lainnya dalam perhitungan tingkat kenyamanan termal agar tingkat kenyamanan yang dihasilkan semakin baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Mukmin, S.A., Wijaya, A.P., dan Sukmono, A. 2016. Analisis Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Distribusi Suhu Permukaan Dan Keterkaitannya Dengan Fenomena *Urban Heat Island*. Skripsi. Departemen Teknik Geodesi UNDIP. Semarang.
- Atrianta, L., Sudibyakto, A.H., dan Hisbarn, D.R. 2017. Pengaruh Intensitas Pemanfaatan Ruang Terhadap SUHI Di Perkotaan Yogyakarta. Program Studi Ilmu Lingkungan UGM Yogyakarta.
- Danoedoro, P. 2012. Pengantar Penginderaan Jauh Digital. Yogyakarta: CV.ANDI OFFSET.
- Emmanuel, R. 2004. *Thermal Comfort Implications Of Urbanization In A Warm-Humid City : the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka*. Elsevier.
- Effendy, S. 2007. Keterkaitan Ruang Terbuka Hijau Dengan *Urban Heat Island* Wilayah JABODETABEK. Disertasi. Departemen Geofisika dan Meteorologi IPB. Bogor.
- Erhaneli, dan Irawan, O. 2015. Prediksi Perkembangan Beban Listrik Sektor Rumah Tangga Di Kabupaten Sijunjung Tahun 2013-2022 Dengan Simulasi SPSS. Jurnal, Vol 17, Nomor 2. ISSN : 1693-752x. Fakultas Teknologi Industri ITP. Padang.
- Fawzi, N.I. 2014. Pemetaan Emisivitas Permukaan Menggunakan Indeks Vegetasi. Jurnal. Program Studi Kartografi dan Penginderaan Jauh UGM. Yogyakarta.
- Indarto. 2014. Teori dan Praktek Penginderaan Jauh. Yogyakarta: CV.ANDI OFFSET.
- Iswanto, P.A., Sobirin, Bahaudin, C. 2008. *Urban Heat Island* Di Kota Pangkalpinang Tahun 2000 dan 2006. Skripsi. Departemen Geografi UI. Depok.
- Jatmiko, R.H. 2016. Penggunaan Citra Saluran Inframerah Termal Untuk Studi Perubahan Liputan Lahan Dan Suhu Sebagai Indikator Perubahan Iklim Perkotaan Di Yogyakarta. Disertasi. Fakultas Geografi UGM. Yogyakarta.
- Kalfuadi, Y. 2009. Analisis *Temperature Heat Index* (THI) Dalam Hubungannya Dengan Ruang Terbuka Hijau. Skripsi. Departemen Meteorologi dan Geofisika IPB. Bogor.
- Pratama, R.K., dan Risdiyanto, I. 2014. Analisis Perubahan Albedo, Suhu Permukaan Dan Suhu Udara Sebagai Dampak Perubahan Penutupan Lahan Menggunakan Data Citra Satelit Landsat. Skripsi. Departemen Meteorologi dan Geofisika IPB. Bogor.
- Tursiowati, L. 2015. Pengaruh Perkembangan Pembangunan Daerah Urban Pada Perubahan Iklim dan Lingkungan di Semarang. Bidang Aplikasi Klimatologi dan Lingkungan LAPAN. Semarang.
- Wati, T., dan Fatkhuroyan. 2017. Analisis Tingkat Kenyamanan Di DKI Jakarta Berdasarkan Indeks THI (*Temperature Humidity Index*). Jurnal Ilmu Lingkungan Vol 15, Hal 57–63. ISSN : 1829-8907. Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana UNDIP. Semarang.
- Wiweka (2014). Pola Suhu Permukaan Dan Udara Menggunakan Citra Satelit Landsat Multitemporal.

Sumber Internet:

- _____.<http://dispendukcapil.semarangkota.go.id/statistik/jumlah-penduduk-kota-semarang/2017-12-20>. Diakses pada tanggal 25 Maret 2018.
- _____.<http://jateng.tribunnews.com/2013/09/09/dalam-9-bulan-tercatat-148-kebakaran-di-kota-semarang>. Diakses pada tanggal 24 Maret 2018.
- _____.<https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product>. Diakses pada tanggal 24 Maret 2018.
- _____.<https://news.detik.com/internasional/2488607/suhu-di-bumi-tahun-2013-terpanas-sejak-1850>. Diakses 30 Maret 2018.